

Niðurstöður 2. áfanga rammaáætlunar

Verkefnisstjórn um gerð rammaáætlunar um vernd og nýtingu náttúrusvæða með
áherslu á vatnsafl og jarðhitasvæði.



Júní 2011



Gefið út af verkefnisstjórn um gerð rammaáætlunar
og iðnaðarráðuneytinu

Reykjavík, júní 2011

Ritstjóri: Sveinbjörn Björnsson

ISBN- 978-9979-68-298-1

Ljósmynd á forsíðu: Innri Tungnaárbotnar

Mynd tekin sumarið 2008 á vegum Íslenska landslagsverkefnisins

Niðurstöður 2. áfanga rammaáætlunar

Verkefnisstjórn um gerð rammaáætlunar um vernd og nýtingu náttúrusvæða með
áherslu á vatnsafl og jarðhitasvæði.

Júní 2011

Formáli

Í september 2007 skipaði iðnaðarráðherra 11 manna verkefnisstjórn til að ljúka 2. áfanga rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Í skipunarbréfi verkefnisstjórnar segir í 1. mgr. „Ríkisstjórnin hefur einsett sér að skapa sátt um vernd og nýtingu náttúrusvæða og leggur því áherslu á að ljúka sem fyrst rannsóknum á verndargildi þeirra og gildi til annarrar nýtingar, með sérstaka áherslu á mat á verndargildi háhitasvæða landsins og flokkun þeirra með tilliti til verndar og orkunýtingar.“ Einnig kemur fram að markmið rammaáætlunar sé „að skapa faglegar forsendur fyrir ákvörðun um vernd og nýtingu náttúrusvæða með áherslu á vatnsafls- og jarðhitasvæði. Í áætluninni skal leggja mat á og flokka virkjunarkosti, jafnt vatnsafls og háhita og áhrif þeirra á náttúrufar, náttúru- og menningarminjar, meðal annars með tilliti til orkugetu, hagkvæmni og annars þjóðhagslegs gildis, samhliða því að skilgreina og meta áhrif á hagsmuni allra þeirra sem nýtt geta þessi sömu gæði.“

Hér er áherslubreyting frá 1. áfanga þar sem nú er bæði fjallað um vernd og nýtingu en ekki einungis nýtingu. Sömu leiðis er talað um náttúrusvæði en ekki bara virkjunarhugmyndir. Í samræmi við þessar áherslubreytingar breyttust efnistök faghópa og formlegt heiti áætlunarinnar varð: „Rammaáætlun um vernd og nýtingu náttúrusvæða með áherslu á vatnsafl og jarðhitasvæði“.

Með bréfi dags. 17. okt. 2007 beindi iðnaðarráðherra þeim tilmælum til verkefnisstjórnar að hún taki í starfi sínu einnig tillit til þeirra reglna sem gilda um þær menningar- og náttúruminjar sem falla undir heimsminjaskrá Menningarmálastofnunar Sameinuðu þjóðanna (UNESCO). Af því tilefni var Kristín Huld Sigurðardóttir, forstöðumaður Fornleifaverndar ríkisins, tilnefnd í verkefnisstjórnina af mennta- og menningarmálaráðherra. Þar með urðu fulltrúar í verkefnisstjórn 12 og hafa verið svo síðan. Þessi viðbót við verkefnisstjórn varð til þess að beina enn frekar athygli verkefnisstjórnar að áhrifum virkjana á menningarminjar, en mat á verðmæti þeirra og áhrifamat var á forræði faghóps I.

Þá beindi ráðherra því til verkefnisstjórnar „að hún semji, í samráði við sérfræðinga á þessu sviði, drög að reglum um framkvæmdir á háhitasvæðum. Í þeirri vinnu skal hafa það að markmiði að reglurnar tryggi lágmörkun umhverfisáhrifa við framkvæmdir á háhitasvæðum“. Jafnframt óskaði ráðherra eftir því að verkefnisstjórnin semdi drög að reglum er hafi það að markmiði að tryggja sjálfbæra nýtingu jarðvarma og skyldi í því starfi „taka tillit til viðeigandi alþjóðasamninga og yfirlýsinga sem Ísland á aðild að, m.a. Ríó-yfirlýsingarinnar og meginreglna umhverfisréttar.“ Til að mæta þessum óskum ráðherra fól verkefnisstjórnin Stefáni Arnórssyni prófessor að skrifa álitsskýrslu um jarðhita á Íslandi, eðli auðlindarinnar og endingu, verklag við undirbúning að vinnslu og umhverfisáhrif nýtingar. Ágrip hennar er birt hér í grein 2.3.2 en álitsskýrðin er viðauki 3 með þessari skýrslu. Einnig gerðist verkefnisstjórn aðili að vinnuhópi um sjálfbærni jarðhita sem Orkustofnun í samráði við fleiri aðila kom á fót fyrri hluta árs 2008 og tilnefndi verkefnisstjórn fulltrúa í hópinn. Vinnuhópurinn hefur nú skilað skýrslu um efnið og er hún aðgengileg á vef rammaáætlunar og nefnist *Eðli jarðhitans og sjálfbær nýting hans. Álitsskýrð faghóps um sjálfbæra nýtingu jarðhita*. Verkefnisstjórn rammaáætlunar tók þátt í að móta tillögu að markmiðum sjálfbærrar jarðhitanytingar. Hún er birt hér í töflu 2.3 en er einnig hluti skýrslunnar um Eðli jarðhitans, sem tafla 5 í þeirri skýrslu.

Verkefni faghóps III hefur verið að meta áhrif á þjóðhagsmál, atvinnulíf og þar með byggðapróun. Faghópnum var bæði ætlað að meta áhrif á *efnahagsgerð* og á *félagsgerð* viðkomandi samfélags. Það er ljóst að þetta verkefni er vandleyst þegar fjallað er um virkjunarhugmyndir sem í mörgum tilfellum eru lítt útfærðar. Faghópur III í 2. áfanga dró lærdóma af tilraunum faghóps III í 1. áfanga og komst nokkuð áleiðis í sinni vinnu sbr. 5. kafla þessarar skýrslu. Það er hinsvegar ljóst að í framhaldi þarf að skilgreina betur með hvaða hætti á að nálgast hinn félagslega þátt enn frekar.

Verkefnisstjórn ákvað að skipa fjóra faghópa líkt og gert var í 1. áfanga en ákveðið var að færa verkefni á milli þannig að faghópur II sinnti auk útivistar einnig ferðaþjónustu sem hafði í 1. áfanga verið verkefni faghóps III. Þá höfðu ákvæði raforkulaga nr. 65/2003 um samkeppni í orkugeiranum áhrif á efnistöð faghóps IV. Verkefnisstjórn ákvað að faghópar I og II skyldu beita AHP aðferð við úrvinnslu og byggði það á reynslu úr 1. áfanga.

Samkvæmt skipunarbréfi verkefnisstjórnar var gert ráð fyrir því að verkefnisstjórn skilaði niðurstöðum sínum um mitt ár 2009. Það varð snemma ljóst að það næðist ekki, m.a. vegna þess að þær rannsóknir sem verið var að vinna fyrir rammaáætlun mundu ekki allar skila sér í tíma þannig að faghópar hefðu nægan tíma til úrvinnslu. Einnig þurftu faghópar II og III að þróa sínar vinnuaðferðir og aðferðafræði að stórum hluta. Faghópar luku sinni vinnu í janúarlök 2010. Í kjölfar þess var farið í kynningar- og umsagnaferli sem tók mikinn tíma en niðurstöður þess hafa áhrif á endanlega niðurstöðu faghópa og verkefnisstjórnar. Í umsögnum koma einnig fram ábendingar sem haldið er til haga í 9. kafla þessarar skýrslu, ásamt þeim ábendingum sem koma frá faghópum og verkefnisstjórn.

Alls komu 84 virkjunarhugmyndir til mats þó ekki næðu allir faghópar að meta og raða þeim öllum. Var það vegna þess að næg gögn voru ekki tiltæk, eða bárust svo seint að þau nýttust ekki við matið. Þær virkjunarhugmyndir sem allir faghópar náðu að meta eru 66, 28 í vatnsafla og 38 í jarðvarma. Þær virkjunarhugmyndir sem út af standa fara væntanlega í biðflokk sbr. lög um verndar- og orkunýtingaráætlun og koma því til mats síðar.

Í verkefnisstjórninni sátu þessir:

- Svanfríður Jónasdóttir, bæjarstjóri í Dalvíkurbyggð, formaður verkefnisstjórnar, skipað sameiginlega af iðnaðarráðherra og umhverfisráðherra.

Aðrir í verkefnisstjórninni voru:

- Agnar Olsen, Landsvirkjun, tilnefndur af Samorku. Tók við af Hjörleifi B. Kvaran í september 2010.
- Anna Sverrisdóttir, ráðgjafi og formaður faghóps II, tilnefnd af Samtökum ferðaþjónustunnar, tók sæti Eydísar Aðalbjörnsdóttur í ágúst 2008.
- Björg Eva Erlendsdóttir, framkvæmdastjóri Vinstri grænna flokka á Norðurlöndum, tók sæti Þorsteins Tómassonar, í febrúar 2010, tilnefnd af landbúnaðarráðherra.
- Elín R. Líndal, oddviti Húnaþings vestra, tilnefnd af Sambandi íslenskra sveitarfélaga.
- Friðrik Dagur Arnarson, landfræðingur og framhaldsskólakennari, tilnefndur af náttúruverndarsamtökum, tók sæti Freysteins Sigurðssonar í verkefnisstjórn í janúar 2009, en Freysteinn lést í árslok 2008.
- Guðni A. Jóhannesson, orkumálastjóri, formaður faghóps IV, tilnefndur af Orkustofnun, tók

- við af Þorkatli Helgasyni þegar hann hætti sem orkumálastjóri í lok árs 2007.
- Kristín Linda Árnadóttir, forstjóri Umhverfisstofnunar, tilnefnd af Umhverfisstofnun, tók við af Elly Katrínu Guðmundsdóttur snemma árs 2008.
 - Kristín Huld Sigurðardóttir, forstöðumaður Fornleifaverndar ríkisins, tilnefnd af menntamálaráðherra.
 - Stefán Arnórsson, prófessor við Háskóla Íslands, tilnefndur af iðnaðarráðherra.
 - Unnur Brá Konráðsdóttir, sveitarstjóri í Rangárþingi eystra (alþingismaður frá apríl 2009), tilnefnd af forsætisráðherra.
 - Þóra Ellen Þórhallsdóttir, prófessor við Háskóla Íslands, formaður faghóps I, tilnefnd af umhverfisráðherra.

Í byrjun vann Hreinn Hrafnkelsson, iðnaðar- og viðskiptaráðuneytinu, að undirbúningi starfsins. Síðan hafa Helga Barðadóttir, fyrir hönd iðnaðarráðuneytisins, og Steinunn Fjóla Sigurðardóttir, fyrir hönd umhverfisráðuneytisins, setið fundi verkefnisstjórnar og tekið þátt í starfi stjórnarinnar.

Auk erindisbréfs og tilmæla ráðherra í bréfi frá 17. okt. 2007, leit verkefnisstjórn til þess sem fram kom um verk hennar í stjórnarsáttmálum þeirra ríkisstjórna sem sátu á verktíma hennar en þar hefur verið lögð rík áhersla á að ljúka gerð rammaáætlunar um vernd og nýtingu náttúrusvæða sem allra fyrst og að hún fái lögformlega stöðu í stjórnkerfinu.

Hákon Aðalsteinsson deildarstjóri á Orkustofnun vann að undirbúningi rannsóknarverkefna fyrir 2. áfanga uns hann hvarf til annarra starfa. Starfsmaður verkefnisstjórnar til júní 2010 var Tómas Þór Tómasson, sagnfræðingur. Auk hans hafa Kjartan Ólafsson, lektor við Háskólann á Akureyri, formaður faghóps III, Kristinn Einarsson, yfirverkefnisstjóri Orkustofnunar og Sveinbjörn Björnsson fyrrv. háskólarektor og formaður verkefnisstjórnar 1. áfanga rammaáætlunar, setið marga fundi verkefnisstjórnar og veitt mikilvæga aðstoð.

Verkefnisstjórn hefur haldið 48 stjórnarfundum og formenn faghópa ásamt formanni verkefnisstjórnar og sérfræðingum hafa einnig fundað sérstaklega til undirbúningsfunda verkefnisstjórnar. Auk þess hefur stjórnin eða fulltrúar úr stjórn tekið þátt í um 60 kynningarfundum um land allt.

Ritstjóri skýrslu verkefnisstjórnar var Sveinbjörn Björnsson. Þórunn Erla Sighvats samræmdi og bætti málfar á texta og Inga Dóra Guðmundsdóttir annaðist umbrot.

Efnisyfirlit

Meginniðurstöður	12
1. Inngangur	23
1.1 Forsaga	23
1.1.1 Aðdragandi	23
1.1.2 Fyrsti áfangi rammaáætlunar	23
1.1.3 Undirbúningur að 2. áfanga rammaáætlunar	24
1.2 2. áfangi rammaáætlunar	25
1.2.1 Faghópar	25
1.2.2 Lögformleg staða rammaáætlunar	26
1.2.3 Kynning og samráð	27
1.2.4 Kostnaður	27
1.2.5 Heimildir og gögn	28
2. Gagnaöflun og undirbúningur	29
2.1 Orkugjafar og orkunotkun	29
2.2 Virkjunarhugmyndir til mats	29
2.3 Gagnaöflun	36
2.3.1 Rannsóknir	36
2.3.2 Eðli jarðhita og nýting hans	39
2.3.3 Sjálfbær þróun og nýting jarðhita	43
3. Aðferðafræði og niðurstöður faghóps I	47
3.1 Verkefni og skipan faghópsins	47
3.2 Aðferðafræði	48
3.2.1 Afmörkun svæða	48
3.2.2 Viðföng eða matsþættir	50
3.2.3 Viðmið	50
3.2.4 Vogtölur	52
3.3 Verðmætamat og röðun svæða eftir verðmætum	53
3.3.1 Vinnuferli fyrir mat á verðmætum	53
3.3.2 Sérstakt mikilvægi	54

3.3.3	Röðun svæða eftir verðmætum	55
3.4	Mat á áhrifum og röðun virkjunarhugmynda	55
3.4.1	Vinnuferli fyrir mat á áhrifum	55
3.4.2	Óvissa og áhætta	56
3.4.3	Lokaröðun virkjunarhugmynda	57
3.5	Niðurstöður	62
3.5.1	Röðun svæða eftir heildarverðmætum	62
3.5.2	Röð svæða eftir verðmætum fyrir einstök viðföng	64
3.5.3	Lokaröðun virkjunarhugmynda	69
3.5.4	Röðun virkjunarhugmynda eftir áhrifum	70
3.6	Sérstakar ábendingar frá faghópi I	72
3.7	Tillögur um frekari rannsóknir	73
3.8	Skilgreiningar og forsendur fyrir mati á verðmætum og áhrifum	74
3.8.1	Menningarminjar	74
3.8.2	Jarðminjar og vatnafar	75
3.8.3	Lífverur	78
3.8.4	Vistkerfi og jarðvegur	80
3.8.5	Landslag og víðerni	82
4.	Aðferðafræði og niðurstöður faghóps II	84
4.1	Verkefni og skipun faghóps	84
4.2	Skilgreiningar og forsendur fyrir mati	85
4.3	Aðferðafræði	89
4.3.1	Ferðamennska og útivist	89
4.3.2	Veiðihlunnindi	96
4.3.3	Beitarhlunnindi og aðrar landnytjar	97
4.4	Verðmætamat og röðun svæða eftir verðmætum	99
4.5	Mat á áhrifum virkjunarframkvæmda og röðun virkjunarhugmynda	103
4.6	Niðurstöður	104
4.7	Sérstakar ábendingar frá faghópi II	106
4.8	Tillögur um frekari rannsóknir	107
5.	Aðferðafræði og niðurstöður faghóps III	109
5.1	Verkefni og skipan faghópsins	109
5.2	Aðferðafræði	109
5.2.1	Aðferðafræði og niðurstöður faghóps III í 1. áfanga	109
5.2.2	Aðferðir og nálgun faghóps III í 2. Áfanga	110

5.2.3	Matslíkan	114
5.3	Niðurstöður	117
5.4	Sérstakar ábendingar frá faghópi III	119
5.5	Tillögur um frekari niðurstöður	119
6.	Aðferðafræði og niðurstöður faghóps IV	120
6.1	Verkefni og skipan faghópsins	120
6.2	Aðferðafræði	120
6.2.1	Virkjunarhugmyndir	120
6.2.2	Mat á orkugetu háhitasvæða	121
6.2.3	Samkeppnisumhverfi og hagkvæmnimat	122
6.2.4	Tengikostnaður	123
6.3	Niðurstöður	125
6.4	Staða virkjunarhugmynda í apríl 2011	127
6.5	Sérstakar ábending frá faghópi IV	133
6.5.1	Línur og tengivirk	133
6.5.2	Kostnaðarútreikningar, markmið og takmarkanir	133
6.5.3	Geislatengdar byggðir	133
6.6	Tillögur um frekari rannsóknir	134
7.	Aðferðafræði og niðurstöður verkefnastjórnar	135
8.	Samráð og kynningar	150
8.1	Samráðsfundir	150
8.2	Aðrar kynningar og kynningarfundir	150
8.3	Kynningar fyrir samtök sveitarfélaga og þingflokka	151
8.4	Kynningarfundir og umsagnarferli verið 2010	152
9.	Ábendingar og framhald	153
9.1	Almennt um framhald og ábendingar	153

9.2	Ábendingar	153
9.2.1	Sjálfbær þróun	153
9.2.2	Samfélagsleg þróun	154
9.2.3	Mótvægisáðgerðir	155
9.2.4	Jaðarsvæði	156
9.2.5	Frekari flokkun á vatnsföllum	156
9.2.6	Hvaða rannsóknargögn þarf við vinnu rammaáætlunar?	157
9.2.7	Ábendingar frá faghópi I	157
9.2.8	Ábendingar frá faghópi II	158
9.2.9	Ábendingar frá faghópi III	159
9.2.10	Ábendingar frá faghópi IV	159
9.3	Ábendingar og athugasemdir frá fulltrúum í verkefnisstjórn	160
9.3.1	Rammaáætlun og fornleifaarfurinn	160
9.3.2	Náttúruvernd sem landnýting	164
9.3.3	Samfélagið og hugmyndafræði sjálfbærrar þróunar	165
9.3.4	Áhrif verndar- og orkunýtingaráætlunar á skipulagsvald sveitarfélaga	168
9.3.5	Almennt um rammaáætlun og lög nr. 48/2011 um verndar- og orkunýtingaráætlun	168
10.	Heimildir	170
	Viðaukar	
V.1	Skipunarbréf verkefnisstjórnar	177
V.2	Bréf ráðherra til verkefnisstjórnar 17. október 2007	181
V.3	Jarðhiti á Íslandi – Eðli auðlindar og ending, verklag við undirbúning að vinnslu, umhverfisáhrif af nýtingu	183
	Myndaskrá	
Mynd 3.1	Matsferli faghóps I	47
Mynd 4.1	Útflutningur og helstu aðföng 2009	85
Mynd 4.2	Þættir sem höfðu mikil áhrif á ákvörðun um Íslandsferð sumarið 2010	86
Mynd 4.3	Ferðalög og ferðaleiðir	87
Mynd 7.1	Fylgni milli röðunar hjá faghópum	138
Mynd 7.2	Tölfræðileg fylgni milli röðunar hjá faghópum	138
Mynd 7.3	Fylgni milli röðunar faghóps I og faghóps II	139
Mynd 7.4	Samanburður á röðun eftir minnkandi óæskilegum áhrifum og náttúru og ferðaþjónustu að mati faghópa I og II við röðun faghóps III og hag-kvæmniflokka faghóps IV	139
Mynd 7.5	Röðun með kössum, dregnum frá sjónarhólum verndunar eða nýtingar	141
Mynd 7.6	Röðun með hringum, dregnum frá sjónarhólum verndunar eða nýtingar	141

Töfluskrá

Tafla 1.1	Sérstök fjárveiting í umsýslu Orkustofnunar vegna 2. áfanga ramma-áætlunar 2005-2010	28
Tafla 2.1	Virkjunarhugmyndir í vatnsafla til mats í 2. áfanga rammaáætlunar	32
Tafla 2.2	Virkjunarhugmyndir á háhitasvæðum til mats í 2. áfanga rammaáætlunar	34
Tafla 3.1	Viðföng og undirviðföng náttúru og menningarminja með dæmi um fyrirbæri í hverju viðfangi eða undirbúningi	50
Tafla 3.2	Viðmið og vogtölur viðmiða og viðfanga	52
Tafla 3.3	Skýringarmynd af vinnuferli faghóps I	59
Tafla 3.4	Gátlisti fyrir röðun svæða eftir verðmætum	54
Tafla 3.5	Röð svæða eftir heildarverðmætum	62
Tafla 3.6	Röð svæða eftir verðmætum í menningarminjum	64
Tafla 3.7	Röð svæða eftir verðmætum í jarðminjum og vatnafari	65
Tafla 3.8	Röð svæða eftir verðmætum tegundum lífvera	66
Tafla 3.9	Röð svæða eftir verðmætum í vistkerfum og jarðvegi	67
Tafla 3.10	Röð svæða eftir verðmætum í landslagi og víðernum	68
Tafla 3.11	Röðun svæða eftir heildarverðmætum í náttúru og menningarminjum og röðun með þrepagreiðingu	69
Tafla 3.12	Röð virkjunarhugmynda eftir áhrifaeinkunum	70
Tafla 4.1	Róf afþreyingarmöguleika	87
Tafla 4.2	Viðföng og vægi þeirra	89
Tafla 4.3	Undirviðföng og viðmið fyrir mat á verðmæti ferðasvæða fyrir ferðamennsku og útivist	92
Tafla 4.4	Faghópur II. Verðmætamat á svæðum vegna hlunninda	99
Tafla 4.5	Faghópur II. Verðmætamat á svæðum vegna ferðaþjónustu og útivistar	101
Tafla 4.6	Faghópur II. Röðun virkjunarhugmynda eftir samsettri heildareinkunn áhrifa virkjunarframkvæmda á beit, veiðar, ferðaþjónustu og útivist	103
Tafla 4.7	Faghópur II. Lokaröðun virkjunarhugmynda með AHP-þrepagreiðingu	105
Tafla 5.1	Matsþættir og víddir	113
Tafla 5.2	Faghópur III. Lokaröðun virkjunarhugmynda með tilliti til möguleika til breytinga í samfélaginu	117
Tafla 6.1	Stærð háviðnámskjarna og áætlað afl einstakra þekktra háhitasvæða miðað við 50 ára vinnslutíma	121
Tafla 6.2	Verðforsendur kostnaðarútreikninga vegna raflínutenginga virkjunarhugmynda við flutningskerfi Landsnets	125
Tafla 6.3	Niðurstaða faghóps IV á hagkvæmnisröð virkjunarhugmynda	125
Tafla 6.4	Svör orkufyrirtækja	128
Tafla 7.1	Upphafleg röðun faghópa, orka og gæði gagna	136
Tafla 7.2	Röðun verkefnisstjórnar	143

Meginniðurstöður

Samkvæmt erindisbréfi verkefnisstjórnar 2. áfanga rammaáætlunar frá ágúst 2007 er verkefnisstjórninni ætlað „að ákveða hvernig haga á mati á virkjunarkostum í þessum áfanga, sem og að vinna samræmt heildarmat fyrir alla þá virkjunarkosti sem verið hafa til umfjöllunar í 1. og 2. áfanga rammaáætlunarinnar með hliðsjón af stefnuyfirlýsingu ríkisstjórnarinnar.” Vitnað er í eftirfarandi kafla í stefnuyfirlýsingu ríkisstjórnarinnar: *Til að skapa sátt um vernd og nýtingu náttúrusvæða er mikilvægt að ljúka rannsóknum á verndargildi þeirra og gildi annarrar nýtingar. Sérstök áhersla verði lögð á að meta verndargildi háhitasvæða landsins og flokka þau með tilliti til verndar og orkunýtingar. Stefnt verður að því að ljúka vinnu við rammaáætlun fyrir lok árs 2009 og leggja niðurstöðuna fyrir Alþingi til formlegrar afgreiðslu. Þar til sú niðurstaða er fengin verði ekki farið inn á óröskuð svæði án samþykkis Alþingis, nema rannsóknar- eða nýtingarleyfi liggi fyrir.*

Markmið 2. áfanga rammaáætlunar er samkvæmt erindisbréfi einnig „að skapa faglegar forsendur fyrir ákvörðun um vernd og nýtingu náttúrusvæða með áherslu á vatnsafls- og jarðhitasvæði. Í áætluninni skal leggja mat á og flokka virkjunarkosti, jafnt vatnsafls og háhita og áhrif þeirra á náttúrufar, náttúru- og menningarminjar, meðal annars með tilliti til orkugetu, hagkvæmni og annars þjóðhagslegs gildis, samhliða því að skilgreina og meta áhrif á hagsmuni allra þeirra sem nýtt geta þessi sömu gæði.”

Verkefnisstjórn skipaði fjóra faghópa sérfræðinga sem mátu virkjunarhugmyndir eftir þeim áherslum sem lagðar voru fyrir. Faghópi I var falið að meta verðmæti náttúru og menningarminja og áhrif mögulegrar orkuvinnslu á þau verðmæti. Faghópi II var falið að meta áhrif virkjunarhugmynda á ferðaþjónustu, útivist, landbúnað og hlunnindi. Faghópi III var falið að meta áhrif á þjóðhagsmál, atvinnulíf og byggðaþróun. Verkefni faghóps IV var að skilgreina þá kosti sem fyrir hendi kynnu að vera til að nýta vatnsorku og jarðhita til raforkuvinnslu, meta afl, orkugetu og líklegan orkukostnað hvers þeirra og forgangsraða eftir hagkvæmni.

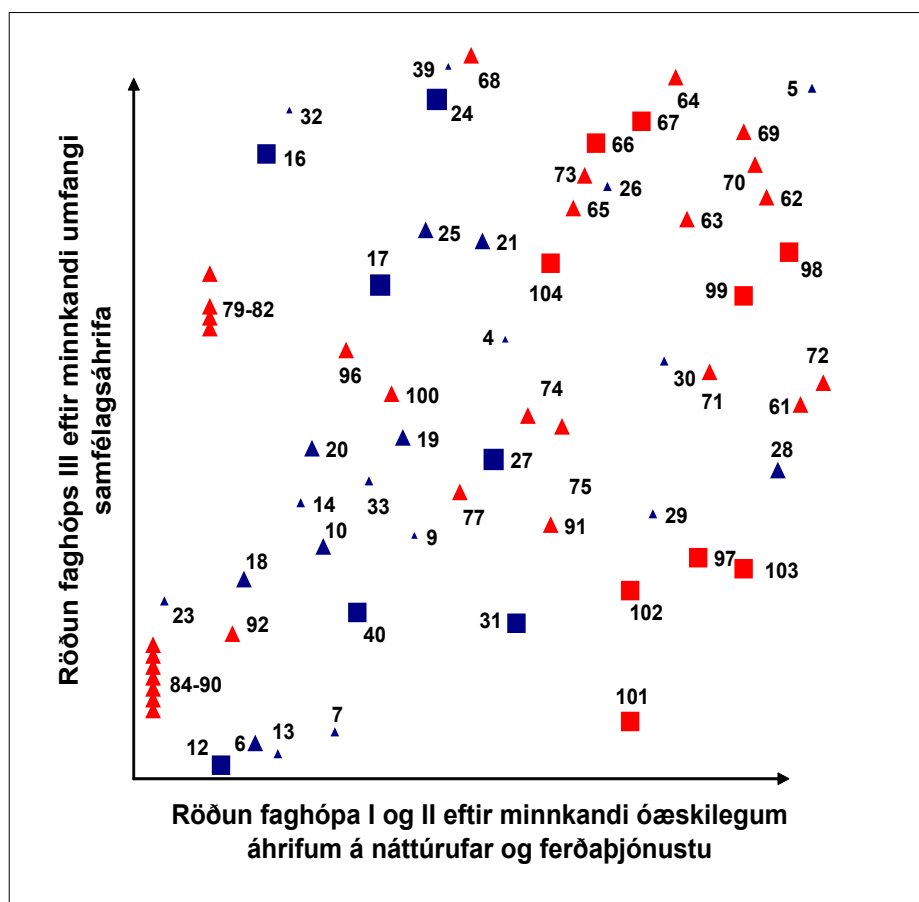
Alls komu 84 virkjunarhugmyndir til mats í 2. áfanga. Þar af höfðu 11 verið metnar í vatnsafl og 21 í jarðhita í 1. áfanga, en þær voru nú endurmetnar í ljósi bættra gagna eða endurskoðaðra hugmynda um tilhögun virkjunar. Ekki reyndust forsendur til að ljúka mati á öllum hugmyndunum vegna skorts á gögnum eða þau bárust svo seint að ekki vannst tími til að nýta þau í mati. Alls voru 66 hugmyndir metnar af öllum faghópum, 28 í vatnsafl og 38 í jarðhita. Margar þeirra eru komnar mun lengra í undirbúningi en þörf er á vegna mats fyrir rammaáætlun. Mati á umhverfisáhrifum er lokið vegna 14 þeirra og ein er í byggingu.

Á grundvelli mats faghópanna hefur verkefnisstjórnin raðað þeim 66 hugmyndum sem allir faghóparnir mátu. Þær virkjunarhugmyndir sem út af standa að þessu sinni fara væntanlega í biðflokk sbr. lög um verndar- og orkunýtingaráætlun, og koma því til mats síðar.

Mjög sterk fylgni reyndist vera milli röðunar hjá faghópum I og II en lítil sem engin milli annarra faghópa.

Mynd 7.4 sýnir röðun eftir minnkandi óæskilegum áhrifum á náttúru og ferðaþjónustu

samkvæmt mati faghópa I og II í samanburði við röðun faghóps III. Hún sýnir einnig hvernig hagkvæmniflokkar faghóps IV dreifast.



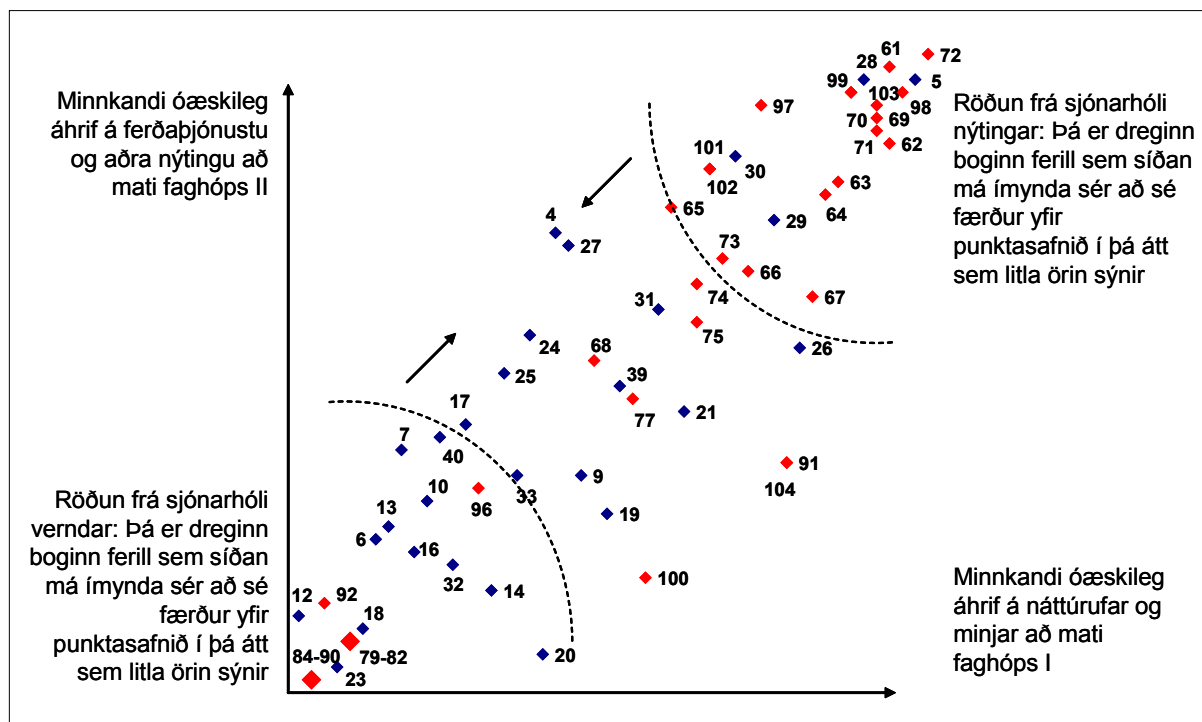
Mynd 7.4 Samanburður á röðun eftir minnkandi óæskilegum áhrifum á náttúru og ferðaþjónustu að mati faghópa I og II við röðun faghóps III og hagkvæmniflokka faghóps IV. Ferningar tákna virkjanir í hagkvæmstu kostnaðarflokkunum 1 og 2, þríhyrningar kostnaðarflokk 3 en litlir punktar kostnaðarflokka 4 og 5. Bláir punktar tákna hugmyndir í vatnsafla en rauðir hugmyndir í jarðhita.

Hagkvæmir kostir til virkjunar finnast bæði meðal þeirra hugmynda sem taldar eru óæskilegar vegna áhrifa á náttúru og ferðaþjónustu og hinna sem hafa lítil neikvæð áhrif á þessa þætti. Sama gildir um áhrif til breytinga samkvæmt mati faghóps III. Í ljósi þessa samþykkti verkefnisstjórnin að leggja röðun faghópa I og II til grundvallar í sinni röðun en nýta álit faghópa III og IV sem viðbótarupplýsingar um þær hugmyndir sem raðað er.

Vandinn í röðun virkjunarhugmynda snerist þá einkum um hvernig ætti að fara að þegar faghópar I og II raða ólíkt og hvernig ætti að fara með þær hugmyndir sem aðeins fengu mat frá öðrum hópnum eða hvorugum. Niðurstaða þeirrar umræðu var að raða aðeins þeim hugmyndum sem báðir faghóparnir höfðu metið. Þótt áætla mætti hvar þessar hugmyndir hefðu lent í röð, væri ekki þörf á að raða þeim að þessu sinni.

Neðst til vinstri í mynd 7.6 eru óæskileg áhrif mest að mati beggja faghópa en minnst efst til

hægri. Kalla má hornið neðst til vinstri sjónarhól verndunar en hornið efst til hægri sjónarhól nýtingar. Verkefnisstjórnin tók þann kost að raða fremst verndunar megin þeim hugmyndum



Mynd 7.6 Röðun með hringum, dregnum frá sjónarhólum verndunar eða nýtingar.

Númer við punkta eru staðarnúmer virkjunarhugmyndar samkvæmt töflum 2.1 og 2.2. Bláir punktar tákna hugmyndir í vatnsafla en rauðir hugmyndir í jarðhita.

sem eru næstar sjónarhóli verndunar og fremst nýtingar megin þeim hugmyndum sem eru næstar sjónarhóli nýtingar. Röðun með þessum hætti fæst með hringum sem dregnir eru frá hvorum sjónarhóli. Þessi aðferð þótti vænlegust til að mæta sjónarmiðum beggja faghópa.

Röðun verkefnisstjórnar með þessum hætti er sýnd í töflu 7.2. Í töflunni eru virkjunarhugmyndir í jarðhita almennt auðkenndar með bleikum lit eða brúnum lit ef þær eru komnar svo langt að hafa farið í gegnum mat á umhverfisáhrifum framkvæmda. Á sama hátt eru virkjunarhugmyndir í vatnsafla auðkenndar með bláum lit, eða blágrænum ef þær hafa farið í gegnum mat á umhverfisáhrifum.

Tafla 7.2 Röðun verkefnisstjórnar								
Nr.	Heiti	Röðun af sjónarhóli nýtingar	Röðun af sjónarhóli verndar	Uppsett af MW	Orkuvinnslumat	Þjóðhagsleg- og byggðáhrif	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
72	Hellisheiði	1	66	90	738	40	3	Virkjun gangsett 2011
5	Blönduveita	2	65	28	180	73	4	Tölur leiðréttar af LV. Gert er ráð fyrir að nýta nánast allt fallið frá miðunarhlóni í inntakslón. Unnið að frumhönnun. Fyrsta gangsetning 2016.
61	Reykjanes	3	64	80	568	38	2,5	Beiðni um virkjunarleyfi hjá OS. MÁU samþykkt. 50 MW 2 árum og 30 MW, 3 árum eftir útgáfu leyfis, 2013 og 2014.
98	Krafla I - stækkun	4	63	40	320	54	2	MÁU samþykkt. Aðalskipulag liggur fyrir. Verkhönnun liggur fyrir. Fyrsta gangsetning 2015. Mjög fjölbreytt lífríki hitakærra örvera.
28	Búðarhálsvirkjun	5	62	95	585	31	3	Öll leyfi liggja fyrir og framkvæmdir eru hafnar. Tala um uppsett afli hefur verið uppfærð með tilliti til nýrra upplýsinga. Gangsetning 2013.
62	Stóra-Sandvík	6	57	50	410	63	2,5	Á aðalskipulagi. Rannsóknarleyfi, nýtingarleyfi og virkjunarleyfi ekki til staðar. Orkuvinnslugeta ekki þekkt. Reynist svæðið gjöfult gæti framleiðsla hafist eftir 5-8 ár.
70	Gráuhnúkar	7	61	45	369	66	3	MÁU frummatsskýrsla. Á aðalskipulagi. Rannsóknarleyfi fengið. Vissa um vinnslugetu 65%.
69	Meitillinn	8	58	45	369	69	3	Frumathugun. Vissa um vinnslugetu 35%
99	Krafla II, 1. áfangi	8	58	45	369	49	2	MÁU samþykkt. Aðalskipulag liggur fyrir. Verkhönnun liggur fyrir. 7 nýjar holur um 50 MWe, en vökví er súr. Fyrsta gangsetning 2016.
103	Krafla II, 2. áfangi	8	58	90	738	22	2	Sjá Krafla II Nr. 99. Fyrsta gangsetning 45 MWe 2018 og 45 MWe 2019.
71	Hverahlíð	11	56	90	738	41	3	MÁU og aðalskipulagi lokið að hluta. Vissa um vinnslugetu 85%. Gangsetning í fyrsta lagi í lok 2014.
97	Bjarnarflag	12	54	90	738	23	2	MÁU samþykkt. Deiliskipulag í staðfestingarferli. Verkhönnun liggur fyrir. 6 holur og 45 MWe. Fyrsta gangsetning 1. áf. 45 MWe 2014, 2. áf. 45 MWe 2015. Framkvæmda- og virkjunarleyfi ekki veitt enn.
63	Eldvörp (Svartsengi)	13	55	50	410	59	3	Grindavíkurbær að leggja lokahönd á nýtt aðalskipulag. Rannsóknarleyfi og nýtingarleyfi fengin, virkjunarleyfi ekki. Orkuvinnslugeta nokkuð þekkt, 50 MWe í einum áfanga eftir um 3-4 ár (2015).

Nr.	Heiti	Röðun af sjónarhóli nýtingar	Röðun af sjónarhóli verndar	Uppsett afl MW	Orkuvinnslu- mat	Þjóðhagsleg- og byggðáhrif	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
64	Sandfell	14	53	50	410	76	3	Rannsóknarleyfi fengið, nýtingarleyfi og virkjunarleyfi ekki. Orkuvinnslugeta ekki þekkt. Framleiðsla gæti hafist eftir um 5-10 ár (2017).
30	Holtavirkjun	15	52	53	415	42	4	MAU og aðalskipulag liggur fyrir. Um 50% útboðshönnun er lokið. Fyrsta gangsetning 2016. Framkvæmda- og virkjunarleyfi ekki veitt enn.
29	Hvammsvirkjun	16	51	82	665	27	4	MAU og aðalskipulag liggur fyrir. Útboðshönnun að mestu lokið. Fyrsta gangsetning 2015. Framkvæmda- og virkjunarleyfi ekki veitt enn.
67	Austurengjar	17	50	50	410	70	2	Rannsóknarleyfi fengið, nýtingarleyfi og virkjunarleyfi ekki. Orkuvinnslugeta ekki þekkt. Framleiðsla gæti hafist eftir um 5 ár (2019).
101	Þeistareykir-Vestursvæði	18	48	90	738	20	2	Sjá þeistareyri Nr 102. Fyrsta gangsetning 2018.
102	Þeistareykir	18	48	180	1476	5	2	MAU fyrir 200 MW samþykkt. Aðalskipulag í staðfestingarferli. Verkhönnun liggur fyrir. 6 holur um 45 MWe. Fyrsta gangsetning 1. áf. 45 MWe 2015, 2. áf. 45 MWe 2016, 3. áf. 45 MWe 2018, 4. áf. 45 MWe 2019.
26	Skrokkölduvirkjun	20	45	35	260	64	4	Sótt um rannsóknarleyfi. Tölur um uppsett afl og orkuvinnslumat hafa verið uppfærðar með tilliti til nýjustu upplýsinga. Innan mann-virkjabeltis aðalskipulags Ásahrepps. Fyrsta gangsetning 2018.
66	Sveifluháls	21	47	50	410	68	2	Rannsóknarleyfi fengið, nýtingarleyfi og virkjunarleyfi ekki. Orkuvinnslugeta ekki vel þekkt. Orkuframleiðsla gæti hafist eftir 5 ár (2016).
73	Innstídalur	22	46	45	369	65	3	Frumathugun. Vissa um vinnslugetu 50%.
65	Trölladyngja	23	44	50	410	62	3	Rannsóknarleyfi fengið, nýtingarleyfi og virkjunarleyfi ekki. Orkuvinnslugeta ekki vel þekkt. Orkuframleiðsla gæti hafist eftir 5-10 ár (2018).
75	Þverárdalur (Ölfusvatnslendur)	24	43	90	738	36	3	Frumathugun. Rannsóknarleyfi fengið. Vissa um vinnslugetu 35%.
91	Hágönguvirkjun, 1. áfangi	25	37	45	369	52	3	Rannsóknarleyfi liggur fyrir. Ákvörðun um matskýldu rannsóknarborana liggur fyrir. Forathugunarstig. 1 hola 4 MWe. Fyrsta gangsetning 2016. Mikil mannvirki á miðhláðinu, rétt við þjóðgarð, áhrif af línun.
104	Hágönguvirkjun, 2. áfangi	25	37	90	738	26	2	Sjá Hágönguvirkjun 1. áfangi Nr. 91. Fyrsta gangsetning 45 MWe 2017 og 45 MWe 2018.

Nr.	Heiti	Röðun af sjónarhóli nýtingar	Röðun af sjónarhóli verndar	Uppsett afl MW	Orkuvinnslumat	Þjóðhagsleg- og byggðáhrif	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
74	Bitra		27	42	90	738	3	MAU lokið. Aðalskipulagi frestað. Vissa um vinnslugetu 50%. Mikilvægt útivistarsvæði í nágrenni þéttbýlis.
31	Urríðafossvirkjun		28	41	130	980	2	MAU og aðalskipulag liggur fyrir. Um 60% útboðshönnunar er lokið. Fyrsta gangsetning 2016. Frankvænnda- og virkjunarleyfi ekki veitt enn. Hefur áhrif á stærsta laxveiðistofn landsins með um 10% af heild náttunulegrar laxveiði á Íslandi. Veiði síðustu ár um 5000 laxar. Um 95% aflans er veiddur í net. Netaveiði mun leggjast af með tilkomu virkjunarinnar. Vatnsmesti foss landsins.
4	Hvalá		29	39	35	259	5	Rannsóknarleyfi fengið. Frumhönnun lokið. Vegna tengikostnaðar er verkefnið í bið. Orkuvinnsla gæti hafist árið 2016. Eina virkjunarhugmynd á Vestfjörðum í mati.
27	Norðlingaölduveita 566-567,5 m y.s.		30	40		635	1	MAU liggur fyrir, leyfi ráðherra fyrir framkvæmdinni. Aðalskipulag austan Þjórsár. Framkvæmd tilbúin til útboðshönnunar. Fyrsta gangsetning 2014. Felur í sér röskun vestan Þjórsár á lítt snortnu landi í jaðri Þjórsárvera.
21	Hólmsárvirkjun neðri		31	36	65	480	3	Frumhönnun lokið. Rannsóknarleyfi liggur fyrir. MAU hafið. Verkhönnun að hefjast. Aðalskipulag í staðfestingarferli. Afl og orkuvinnslumat uppfærð eftir frumhönnun. Virkjað rennsli 70 m³/s og virkjað fall 121 m. Fyrsta gangsetning 2016. Óraskað vatnasvið.
68	Brennisteinsfjöll		32	33	25	200	3	Forathugun. Umsókn um rannsóknarleyfi. Vissa um vinnslugetu 35%. HS Orka hyggur ekki á virkjun Brennisteinsfjalla að svo stöddu. Stærsta óbyggða víðerni sem eftir er í nágrenni höfuðborgarinnar.
77	Grændalur		33	34	120	984	3	MAU lokið. Frumathugun. Rannsóknarleyfi liggur fyrir. Vissa um vinnslugetu 50%. Mikilvægt útivistarsvæði í nágrenni þéttbýlis.
39	Hagavatnsvirkjun		34	35	20	140	5	MAU að hluta lokið. Forathugun. Rannsóknarleyfi fengið. Vissa um vinnslugetu 85%.
24	Tungnaárón		35	32		270	1	Frumhönnun lokið. Fyrsta gangsetning 2017. Áhrif á verðmætt landslag.
25	Bjallavirkjun		36	31	46	340	3	Frumhönnun lokið. Fyrsta gangsetning 2017.
9	Fljótsháruvirkjun		37	30	58	405	5	Óraskað vatnasvið.

Nr.	Heiti	Röðun af sjónarhóli nýtingar	Röðun af sjónarhóli verndar	Uppsett afl MW	Orkuvinnslu- mat	Þjóðhagsleg- og byggðáhrif	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
19	Hólmsárvirðing - án miðlunar	38	29	72	(450) ¹	35	3	Frumhönnun lokið. Rannsóknarleiðir liggur fyrir. Ekki byggð ef Hólmsárir virðing neðri verður valin. Óraskað vatnasvið.
17	Skaffarveita án miðlunar í Langasjó	40	28		(245)	50	2	Frumhönnun lokið. Tölur um orkuvinnslumat og stofnkostnaðar-flokk hafa verið leiðréttar til samræmis við athugasemdir Lands-virkjunar dagsettar 3/5 2010. Að hluta innan Vatnajökulsþjóð-garðs. Ekki ráðgerð ef Búlandsvirkjun verður byggð.
33	Bláfellsvirðing	41	27	76	536	30	4	Í Hvítá ofan við Gullfoss. Óraskað vatnasvið.
100	Gjástykki	39	26	45	369	39	3	Rannsóknarleiðir og MÁU rannsóknarborana liggur fyrir. Svæðis-skipulag liggur fyrir. Engin borhola. Fyrsta gangsetning 2017. Nýtt hraun, einstakar hraunmyndanir, sterk mynd og tækifæri til uppbyggingar bekkjar og fræðslutengdrar ferðabjónustu.
40	Búlandsvirkjun	42	25	150	970	18	2	Rannsóknarleiðir fengið 2010. Virkjun og línur eru á aðalskipulagi Skaffarhrepps. Frumhönnun er lokið. Samningar við vatnsréttar-hafa og landeigendur eru langt komnir. Undirbúningur MÁU hafinn, áætluð lok 2012. Áætluð gangsetning september 2017. Rétt við Eldgjá, verðmætar jarðminjar og landslag. Viðtækt áhrifsvæði framkvæmdar.
96	Fremrinámar	43	24	45	369	43	3	Á hugmyndastigi. Hluti af viðtattum víðernum í sérstæðu eldfjallalandslagi norðan Vatnajökuls.
7	Skatastaðavirkjun C	44	23	156	1090	4	4	Frumhönnun lokið. Rannsóknarboranir á gangna leið biða rannsóknarleiðis. Fyrsta gangsetning 2019. Einstakar aðstaður til flúðasiglinga, þær langbestu á landinu, einkum fyrir erfiðar og langar ferðir. Einhver mestu flæðingir á Norðurlöndum við Héraðsvötn, auðugt fuglalíf, sérstæðar sífrerastir á hálendi og mjög verðmætar og fjölbreyttar menningarmínjar.
10	Hrafnabjargavirkjun A	45	22	89	622	24	3	Óraskað vatnasvið.
14	Djúpa	47	21	75	498	28	4	Á svæðinu eru mjög lítil merki um ferðir eða búsetu manna, óraskað vatnasvið, hluti af lítt snortnum víðernum í jaðri Vatna-jökulsþjóðgarðs.
32	Gýgjarfossavirkjun	48	20	21	146	71	5	Í Hvítá ofan við Gullfoss. Óraskað vatnasvið og lítt snortið land.
16	Skaffarveita með miðlun í Langasjó	50	19		(465)	67	1	Verkhönnun lokið. Tölur um orkuvinnslumat og stofnkostnaðar-flokk hafa verið leiðréttar til samræmis við athugasemdir Lands-virkjunar dagsettar 3/5 2010. Er hluti af Vatnajökulsþjóðgarði.

¹ Orkuvinnslugeta: Tölur innan sviga þýða að þetta afl verður ekki nýtt nema fallið sé frá virkjunarhugmyndum sem hafa minni áhrif.

Nr.	Heiti	Röðun af sjónarhóli nýtingar	Röðun af sjónarhóli verndar	Uppsett afl MW	Orkuvinnslu- mat	Þjóðhagsleg- og byggðáhrif	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
13	Helmingsvirkjun	49	18	270	2100	2	4	Breytingar á vatnafari Jökulsár á Fjöllum, þar með Dettifossi, hluti Vatnajökulsþjóðgarðs.
6	Skatastaðavirkjun B	51	17	184	(1260)	3	3	Ekki er gert ráð fyrir þessari tilhögun í rannsóknaráætlun næstu ára. Getur ekki orðið ef Skatastaðavirkjun C verður að veruleika. Einstakur aðstæður til flúðasiglinga, þær langbestu á landinu, einkum fyrir erfiðar og langar ferðir. Einhver mestu flæðilengi á Norðurlöndum við Héraðsvötn, auðugt fuglalíf, sérstæðar slifrerarústir á hálendi og mjög verðmætar og fjölbreyttar menningarmínjar.
20	Hólmsár­virkjun - miðlun í Hólmsarlóni	46	16	72	(470)	34	3	Skarast við virkjunarhugmynd í Hólmsá án miðlunar í Hólmsarlóni. Frumhönnun lokið. Rannsóknarleyfi liggur fyrir. Óraskað vatnasvið.
18	Skaf­ta­virkjun	52	15	125	(760)	21	3	Frumhönnun lokið. Getur ekki orðið ef Búlandsvirkjun er valin.

Nr.	Heiti	Röðun af sjónarhóli nýtingar	Röðun af sjónarhóli verndar	Uppsett af MW	Orkuvinnslu- mat	Þjóðhagsleg- og byggðáhrif	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
92	Vonarskarð	53	14	145	1160	15	3	Háhitasvæði í Vatnajökulsþjóðgarði í hjarta óspilltra víðerna Íslands, mikil áhrif af línun. Verðmætt lífríki hitakærra öværa.
	Kerlingarfjallasvæði							Sérstætt og verðmætt landslag, lítt röskuð víðerni.
79	Hverabotn	55	10	49	392	51	3	
80	Neðri-Hveradalir	55	10	49	392	48	3	
81	Kisubotnar	55	10	49	392	46	3	
82	Þverfell	55	10	49	392	45	3	
23	Markarfljótsvirkjun B	59	9	109	735	19	4	Ósnortið vatnasvið, fjölbreytt og verðmætt landslag og víðerni
12	Amardalsvirkjun	54	8	570	(4000)	1	2	Verður ekki virkið ef Helmingvirkjun byggð. Breytingar á vatnafari Jökulsár á Fjöllum, þar með Dettifossi, hluti Vatnajökulsþjóðgarðs. Mjög mikil verðmæti í landslagi, víðernum, jarðminjum og lífríki. Virkjun myndi færa merkar menningarminjar og verðmætan gróður á kaf.
	Torfajökulssvæði							Að mestu friðland að Fjalabaki. Þetta svæði er landfræðileg heild og jarðfræðilega einstakt á heimsvísu. Samspil vegsum-merkja elds, íss, hrauns og jökla auk einstakrar lífadyrðar jafnt í jarðvegi sem gróðri. Með almiklivægustu svæðum landsins vegna náttúruferðabjónustu og útivistar. Jarðvarmavirkjanir 84 – 90 yrðu á friðlandi eða alveg við mörk þess. Mjög mikil verðmæti í landslagi, víðernum, hitakærum öværum og jarðminjum.
84	Blautakvísl	60	1	181	1448	10	3	
85	Vestur-Reykjadalir	60	1	181	1448	14	3	
86	Austur-Reykjadalir	60	1	181	1448	12	3	
87	Ljósártungur	60	1	181	1448	13	3	
88	Jökultungur	60	1	181	1448	9	3	
89	Kaldaklof	60	1	181	1448	7	3	
90	Landmannalaugar	60	1	181	1448	6	3	

Virkjunarhugmyndir sem ekki voru metnar af öllum faghópum

Nr.	Heiti	Röðun af--- sjónarhóli nýtingar	Röðun af sjónarhóli verndar	Uppsett afl MW	Orkuvinnslu- mat	Þjódhagsleg- og byggðaaðhrif	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
1	Hvítá í Borgarfirði			20	125	81	5	Frumathugun. Vissa um vinnslugetu 65%
2	Glámuvírkjun			67	400	16	5	
3	Skúfnavatnavírkjun			8,5	60	82	5	
8	Villinganesvírkjun			33	(215)	55	3	Verkhömun lokið 2000. MÁU samþykkt 2002. Þá 33 MW, 190 GWh/ár, stofnkostnaðarflokki 4. Nú í flokk 3, 215 GWh/ár. Ef miðlun ofar 250 GWh/ár. Getur ekki orðið ef Skatastaðavírkjun C verður að veruleika.
11	Eyjadalesvírkjun			8	58	83	5	
15	Hverfisfjót			40	260	61	4	
22	Markarfljótsvírkjun A			14	(120)	79	5	Getur ekki orðið ef Markarfljótsvírkjun B verður að veruleika.
34	Búðartunguvírkjun			50	320	53	4	
35	Haukholtsvírkjun			60	358	47	4	
36	Vörðufell			52	170	57	5	
37	Hestvatnsvírkjun			40	300	60	4	Ný útfærsla er í undirbúningi. Umsókn um rannsóknarlýfi. Viðræður við landeigendur og sveitarfélög.
38	Selfossvírkjun			30	250	75	3	Selfossveitur og Vegagerð ríkisins hafa samið um samstarf um stíflu og brú. Vinna við MÁU að hefjast.
76	Ölfusdalur			10	82	84	2,5	
78	Geysir			25	200	78	3	
83	Hveravellir			70	560	32	3	
93	Kverkfjöll			155	1240	8	3	
94	Askja			135	1080	11	3	
95	Hrúthálsar			20	160	74	3	

Röðun af sjónarhóli verndunar í töflu 7.2 má einnig nýta til að móta stefnu um friðun landsvæða gagnvart orkunýtingu. Þar mundi fremur vera stefnt að verndun heillegra landsvæða en stökum verndarsvæðum innan um virkjanir. Í mati faghópa I og II kemur ljóst fram að verðmæti náttúrusvæða eru talin skerðast ef virkjanir og línur sem þeim tengjast rjúfa stærri heildir. Auk þess að flokka virkjunarhugmyndir í nýtingarflokk eða verndunarflokk er því hægt að skilgreina heilleg verndunarsvæði og orkunýtingarsvæði. Innan verndunarsvæða væru allar virkjunarhugmyndir í verndarflokki. Innan nýtingarsvæða væru virkjunarhugmyndir almennt í nýtingarflokki eða biðflokki, en sumar þeirra gætu við nánari skoðun lent í verndarflokki.

Það skiptir máli að ákveðið hefur verið hvernig farið verður með niðurstöður verkefnisstjórnar, en þess söknuðu margir þegar niðurstöður 1. áfanga lágu fyrir. Alþingi hefur nú nýverið samþykkt lög um verndar- og nýtingaráætlun (nr. 48/2011) og í samræmi við ákvæði þeirra laga verða niðurstöður verkefnisstjórnar nýttar við gerð þingsályktunartillögu þar sem þeim virkjunarhugmyndum sem komu til mats verður raðað inn í orkunýtingarflokk sbr. 4. gr., biðflokk sbr. 5. gr. eða verndarflokk sbr. 6. gr. þessara laga. Þannig nýtast niðurstöður verkefnisstjórnar í samræmi við þá áherslu erindisbréfs hennar „að skapa faglegar forsendur fyrir ákvörðun um vernd og nýtingu náttúrusvæða”. Með þingsályktuninni verður ljóst hvernig farið verður með þær virkjunarhugmyndir sem komu til mats í 2. áfanga. Samkvæmt 8. gr. fyrrgreindra laga er ráðherra falið að skipa sex manna verkefnisstjórn til fjögurra ára í senn sem verður ráðherra til ráðgjafar við undirbúning að gerð tillagna fyrir verndar- og orkunýtingaráætlun samkvæmt þessum lögum. Þannig mun vinnan við rammaáætlun halda áfram.

Vinna verkefnisstjórnar tekur til margra þátta og í vinnuferlinu, einkum á síðari stigum þess, hafa iðulega komið fram sjónarmið um það sem mikilvægt er talið að haft sé í huga við frekari vinnu við rammaáætlun. Það á bæði við um rannsóknir og vinnubrögð. Ábendingar um þessi efni koma m.a. fram í köflum faghópa í þessari skýrslu, en í 9. kafla, sem nefnist Ábendingar og framhald, er þess freistað að draga saman bæði það sem faghópar telja mikilvægt að koma á framfæri í ljósi reynslu sinnar og einnig það sem verkefnisstjórn telur mikilvægast að litið sé til við framhald vinnunnar.

1 Inngangur

1.1 Forsaga

1.1.1 Aðdragandi

Vinna að gerð rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma á rætur sínar í markmiðum um sjálfbæra þróun. Árið 1993 skipaði þáverandi umhverfisráðherra starfshóp um umhverfismál, iðnþróun og orkumál. Hópnum var falið að skilgreina sjálfbæra þróun í þessum málaflokkum og setja markmið til skemmri tíma. Jafnframt var honum falið að gera framkvæmdaáætlun í umhverfis- og þróunarmálum til aldamóta. Þessi starfshópur var einn af sjö en hinir tóku á samsvarandi hátt fyrir aðra málaflokka. Hópurinn skilaði álitinu sínu 1995. Þar var lagt til að unnin yrði rammaáætlun til langs tíma um nýtingu vatnsafls í samræmi við samhæfða stefnu í umhverfis-, orku-, iðnaðar- og efnahagsmálum.

Í árslok 1995 setti umhverfisráðherra á fót starfshóp sem fékk það verkefni að setja saman drög að framkvæmdaáætlun sem yrði samþykkt af ríkisstjórn og byggð á skýrslum hópanna sjö. Niðurstaðan var lögð fyrir Umhverfisþing 1996 þar sem hún var rædd og farið yfir athugasemdir. Að teknu tilliti til þeirra var samin framkvæmdaáætlun sem samþykkt var í ríkisstjórn 1997 og nefnd „Sjálfbær þróun í íslensku samfélagi. Framkvæmdaáætlun til aldamóta.” Í áætluninni segir m.a. að iðnaðarráðherra skuli í samráði við umhverfisráðherra láta gera rammaáætlun til langs tíma um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Markmið áætlunarinnar skyldi vera að leggja mat á og flokka virkjunarhugmyndir, jafnt í vatnsaflum sem háhita, m.a. með tilliti til orkugetu, hagkvæmni og annars þjóðhagslegs gildis, samhliða því að skilgreina, meta og flokka áhrif þeirra á náttúrufar, náttúru- og menningarminjar sem og á hagsmuni allra þeirra sem nýta þessi sömu gæði.

1.1.2 Fyrsti áfangi rammaáætlunar

Árið 1999 skipaði iðnaðarráðherra, í samráði við umhverfisráðherra, sérstaka verkefnisstjórn til að vinna að gerð rammaáætlunarinnar. Formaður hennar var Sveinbjörn Björnsson, fyrrverandi háskóla- og verkfræðingur. Verkefnisstjórnin starfaði samkvæmt verklýsingu iðnaðarráðherra í greinargerðinni „Maður – nýting – náttúra” frá 8. mars 1999. Hlutverk verkefnisstjórnarinnar var að hafa með höndum heildarstjórn við mótun áætlunarinnar og skipulag við framkvæmd hennar og beina hinni faglegu vinnu í réttan farveg, jafnframt því að standa að samráði og kynningu með skipulegum hætti. Lögð var áhersla á að það ætti að vera hlutverk viðkomandi stofnana, einkum Orkustofnunar og Náttúrufræðistofnunar Íslands, að standa fyrir rannsóknum vegna viðfangsefnisins og vera þannig verkefnisstjórninni öflugur bakhjarl; Orkustofnun á sviði orkumála og Náttúrufræðistofnun Íslands, ásamt Náttúruvernd ríkisins, í málum sem varða náttúrufar og mat á verndargildi.

Settur var upp sérstakur samráðs- og ráðgjafarvettvangur sem stjórnvöld fólu Landvernd að standa að. Efnt var til fjölda almennra fundna þar sem fram fór almenn kynning á verkefninu og kynning á einstaka álitamálum, s.s. um aðferðafræði, efnahagslegt mat á náttúrunni, siðfræðileg

efni og mat á landslagi. Þá voru einnig haldnir margir fundir með stofnunum og hagsmunaaðilum, sett upp vefsíða og kynningarbæklingar og annað efni gefið út. Verkefnisstjórnin fjallaði um þörf á gagnaöflun og rannsóknum og gerði tillögur í því efni til iðnaðarráðuneytisins.

Fagleg vinna fór fram í fjórum hópum sem skipaðir voru sérfræðingum á viðkomandi sviðum. Faghópur I fjallaði um náttúru og menningarminjar, faghópur II um útivist og hlunnindi, faghópur III um þjóðhagsmál, atvinnulíf og byggðapróun og faghópur IV um nýtingu orkulinda. Verkefnisstjórnin mótaði aðferðafræði og vinnureglur á grundvelli tillagna faghópanna. Faghóparnir fóru svo yfir gögn um virkjunarhugmyndir og mátu og skiluðu niðurstöðum til verkefnisstjórnarinnar. Í kjölfarið vann verkefnisstjórnin úr niðurstöðum faghópanna.

Vinnu við 1. áfanga rammaáætlunarinnar lauk í nóvember 2003 með skýrslu verkefnisstjórnar um niðurstöður áfangans. Þar voru teknir fyrir 19 vatnsorkuhugmyndir og 24 jarðhitahugmyndir. Af þessum virkjunarhugmyndum höfðu 8 þegar verið heimilaðar. Sérstök áhersla var lögð á vatnsaflsvirkjanir í jökulám á hálendinu og jarðhitavirkjanir nærri byggð auk Torfajökulssvæðisins.

Virkjunarhugmyndirnar voru flokkaðar í fimm flokka (a-e) eftir umhverfisáhrifum, aðra fimm eftir heildarhagnaði og fimm eftir arðsemi. Um þessa flokkun voru gerðir fyrirvarar vegna takmarkaðra gagna, einkum um umhverfisáhrif, en einnig heildarhagnað og arðsemi.

Nánari lýsingu á verklagi, matsaðferðum og tillögum er að finna í skýrslunni *Niðurstöður 1. áfanga rammaáætlunar* (<http://www.rammaaetlun.is/1-afangi/>). Í henni var bent á að nokkuð skorti á þekkingu á þeim svæðum sem skýrslan náði til og lagt til að í 2. áfanga rammaáætlunar yrðu gögn sem stuðst var við í 1. áfanga endurbætt eftir þörfum og þróaðar frekar þær aðferðir sem beitt var við matið. Þá þyrfti að undirbúa nýjar virkjunarhugmyndir með rannsóknum og gerð frumáætlana.

1.1.3 Undirbúningur að 2. áfanga rammaáætlunar

Ný þriggja manna verkefnisstjórn var skipuð í september 2004. Formaður var Sveinbjörn Björnsson eins og í 1. áfanga. Í skipunarbréfi kom fram að hún skyldi undirbúa fleiri virkjunarhugmyndir til mats og bæta gögn eða endurskoða tilhögun ýmissa hugmynda sem teknar voru fyrir í 1. áfanga. Áhersla var lögð á að fá heildarmat á sem flestum háhitasvæðum. Þá var enn fremur gert ráð fyrir að þörf kynni að vera á að þróa áfram aðferðir við mat á náttúrufari. Verkefnisstjórnin skipaði sér til aðstoðar tvo ráðgjafahópa; öðrum var ætlað að endurskoða aðferðir við mat á landslagi en hinum var falið mat á orkugetu og verndargildi háhitasvæða. Þessi verkefnisstjórn lauk störfum í maí 2007 og skilaði þá framvinduskýrslu. Í skýrslunni var lýst stöðu gagnaöflunar vorið 2007 og gerð tillaga að verklagi og skipan þriðju verkefnisstjórnar og nýrra faghópa til að ljúka 2. áfanga. (<http://www.rammaaetlun.is/2-afangi/>)

1.2 2. áfangi rammaáætlunar

1.2.1 Faghópar

Við undirbúning vinnunnar við 2. áfanga leit verkefnisstjórnin til þess hvernig verklag hafði verið við 1. áfanga og setti á laggirnar fjóra faghópa sérfræðinga sem lögðu grundvöll að röðun svæða eftir verðmætum og virkjunarhugmyndum og ólíkum hagsmunum. Verksvið faghópanna voru:

- I. Náttúra og menningarminjar
- II. Útivist, ferðapjónusta og hlunnindi
- III. Efnahagsleg og félagsleg áhrif virkjana
- IV. Virkjunarhugmyndir og hagkvæmni þeirra.

Verksvið faghópanna voru svipuð og í 1. áfanga. Ferðapjónusta var þó færð frá faghópi III til faghóps II og faghópur III mat fyrst og fremst möguleg félagsleg og efnahagsleg áhrif virkjana, þ.e. möguleika þeirra til breytinga í sínu umhverfi og á landsvísu. Þá litu faghópar I og II sérstaklega til þeirrar breyttu áherslu sem fram kemur í erindisbréfi verkefnisstjórnar að fjalla á bæði um vernd og nýtingu en ekki bara nýtingu. Sömuleiðis er talað um náttúrusvæði en ekki bara virkjunarhugmyndir og hafa hóparnir því eftir atvikum einnig metið svæði.

Faghóparnir fóru yfir virkjunarhugmyndir sem voru til umfjöllunar í 2. áfanga og þær sem tillaga hafði verið gerð um að bættust við, hver frá sínum sjónarhóli, mátu þær og gerðu tillögur til verkefnisstjórnar. Alls voru til umfjöllunar 84 hugmyndir, 40 í vatnsafl og 44 í jarðhita. Af þessum hugmyndum voru 11 í vatnsafl og 21 í jarðhita metnar í 1. áfanga, en þær voru nú endurmetnar í ljósi bættra gagna eða endurskoðaðra hugmynda um tilhögun. Meðal gagna sem skorti í 1. áfanga var skráning fornleifa.

Af áður nefndum 84 virkjunarhugmyndum voru 66 hugmyndir metnar af öllum faghópunum en 18 ekki vegna skorts á gögnum eða þau bárust svo seint að ekki vannst tími til að nýta þau í mati. Hins vegar eru margar af virkjunarhugmyndunum komnar mun lengra í undirbúningi en þörf er á vegna mats fyrir rammaáætlun. Þannig er mati á umhverfisáhrifum lokið á 14 virkjunarhugmyndum af þeim 66 sem nú voru metnar í 2. áfanga og ein þeirra, Búðarhálsvirkjun, er í byggingu. Í nokkrum ám eru lagðar fram fleiri en ein veitu- eða virkjunarhugmynd þar sem ein útilokar aðra. Þannig er ástatt um 7 virkjunarhugmyndir.

Faghópur I byggði á svipuðum aðferðum og í 1. áfanga. Mat á áhrifum vatnsaflsvirkjana var að mestu miðað við vatnasvið ofan stíflu en meginfarveg fallvatns neðan hennar. Í jarðhita var tekið mið af víðáttu háhitasvæða skv. viðnámsmælingum en einnig horft til landslagsheildar. Aðferðir við mat á landslagi voru betur þróaðar en í 1. áfanga og gögn um lífríki, örveruflóru, tegundir lífvera og jarðminjar á háhitasvæðum mun ítarlegri.

Faghópur II beitti nýjum og mun ítarlegri aðferðum í mati á útivistargildi og ferðapjónustu en í 1. áfanga. Áhrifasvæði voru skilgreind út frá ferðamynstri og ferðaleiðum og virði svæða metið

fyrir ferðabjónustu og áhrif virkjana ásamt raflína á svæðin. Mati á hlunnindum var svipað háttað og í 1. áfanga.

Faghópur III breytti nálgun sinni nokkuð frá 1. áfanga og í stað þess að reyna að mæla þjóðhagsleg og byggðaleg áhrif á peningalegum kvarða ákvað hópurinn að meta möguleika einstaka virkjunarhugmynda til að valda breytingum annars vegar í félagsgerð og hins vegar í efnahagsgerð samfélagsins, bæði staðbundin áhrif og áhrif á landsvísu.

Vegna innleiðingar samkeppnisumhverfis á raforkumarkaði með raforkulögum nr. 65/2003 breyttist aðferðafræði faghóps IV frá 1. áfanga þannig að nú var aðeins litið til stofnkostnaðar virkjana en ekki rekstrartíma og arðsemi. Hópurinn skilgreindi sex hagkvæmniflokka og orkufyrirtæki röðuðu virkjunarhugmyndum í flokka samkvæmt forskrift frá faghópnum sem tryggði samræmda útreikninga.

Nánari lýsingar á aðferðafræði faghópanna er að finna í sér köflum aftar í þessari skýrslu þar sem formenn faghópanna gera grein fyrir störfum þeirra.

1.2.2 Lögformleg staða rammaáætlunar

Í stjórnarsáttmálum þeirra ríkisstjórna sem setið hafa á starfstíma verkefnisstjórnar 2. áfanga rammaáætlunar hafa verið ákvæði þess efnis að niðurstöður rammaáætlunar fengju lögformlega stöðu. Vorið 2009 var tekin ákvörðun um að sett yrðu lög um meðferð rammaáætlunar og jafnframt að niðurstöður verkefnisstjórnar yrðu lagðar fyrir Alþingi í formi þingsályktunartillögu. Við frumvarpssmíðina var gert ráð fyrir því að svæði/virkjunarhugmyndir yrðu flokkaðar í þrjá flokka; nýtingarflokk, biðflokk og verndarflokk. Í verndarflokk verndar- og nýtingaráætlunar ættu að falla virkjunarhugmyndir sem ekki væri talið rétt að ráðast í og landsvæði sem ástæða væri talin til að friðlýsa gagnvart orkuvinnslu. Í nýtingarflokk færu virkjunarhugmyndir sem talið væri að ráðast mætti í að uppfylltum öðrum skilyrðum. Í biðflokk féllu virkjunarhugmyndir sem talið væri að þyrftu frekari skoðunar með betri upplýsingum svo meta mætti hvort þær ættu að ráðast í nýtingarflokk eða verndarflokk.

Frumvarpið var samþykkt sem lög um verndar- og nýtingaráætlun nr. 48/2011 hinn 11. maí sl. Í 3. gr. er tiltekið að verndar- og orkunýtingaráætlun taki ekki til landsvæða sem njóta friðlýsingar í samræmi við 50. gr. laga um náttúruvernd nema tiltekið sé í friðlýsingarskilmálum að virkjunarframkvæmdir séu heimilar á viðkomandi svæði. Í greinargerð er ítrekað að verndar- og orkunýtingaráætlun nái ekki til landsvæða sem hafa verið friðlýst samkvæmt lögum um náttúruvernd nema sérstaklega sé tiltekið að virkjanir séu heimilar. Hins vegar sé verkefnisstjórn heimilt að fjalla um virkjunarkosti og landsvæði innan friðlýstra svæða til samanburðar við aðra kosti. Umhverfisstofnun hefur sett fram það mat að af þeim svæðum sem talin eru hafa að geyma virkjunarkosti og eru til skoðunar í 2. áfanga rammaáætlunar séu í Friðlandi að fjallabaki virkjunarhugmyndirnar nr. 84 Blautakvísl, 85 Vestur-Reykjadalur, 86 Austur-Reykjadalur, 87 Ljósártungur, 89 Kaldaklof og 90 Landmannalaugar, og 88 Jökultungur að hluta. Í Vatnajökulsþjóðgarði nr. 92 Vonarskarð, 94 Askja og 93 Kverkfjöll að mestu (sjá Kort 1.1).

Hafa verður í huga að við mat á virkjunarhugmyndum eru oft ekki gefnar upplýsingar um nákvæma staðsetningu en hins vegar er ljóst að virkjunarframkvæmd getur ekki verið innan friðlýsts svæðis í samræmi 50. gr. náttúruverndarlaga. Með nýlegu samkomulagi um stækkun Vatnajökulsþjóðgarðs munu virkjunarhugmyndir um veitu Skaftár verða innan hans. Lög um Vatnajökulsþjóðgarð gera ráð fyrir að í verndaráætlun þjóðgarðsins verði kveðið á um einstakar verndaraðgerðir og framkvæmdir og hefur núverandi verndaráætlun ekki að geyma heimildir til ofangreindra virkjunarhugmynda. Verndaráætlun þjóðgarðsins skal hins vegar endurskoðuð á 10 ára fresti og er því ekki útilokað að virkjunarhugmyndir verði heimilaðar í framtíðinni. Verndar- og orkunýtingaráætlun gæti hins vegar náð til virkjunarhugmynda í fólkvangi á Reykjanesi enda tiltekið í 2. tölulið 3. mgr. auglýsingar nr. 520/1975 um fólkvang á Reykjanesi að hagnýting jarðhita og mannvirkjagerð því samfara sé heimil.

1.2.3 Kynning og samráð

Verkefnisstjórn 2. áfanga rammaáætlunar hefur lagt ríka áherslu á að leita samráðs við þá hagsmunaaðila sem láta sig málefnið varða. Til að gera upplýsingar um vinnu verkefnisstjórnar aðgengilegar var opnuð sérstök vefsíða, www.rammaaaetlun.is. Þar er markmiðum, sögu rammaáætlunar, vinnuferli og framgangi áætlunarinnar gerð skil. Auk þess má finna á vefsíðunni fjölbreytt efni og gögn um orkubúskap Íslendinga. Efnt hefur verið til fjölmargra samráðsfunda, haldnar kynningar á ýmsum fundum og ráðstefnum og einnig efnt til opinna kynningarfunda um einstök atriði eða áfanga í vinnunni.

Á vefsíðu rammaáætlunar má finna lista yfir flesta þeirra funda og kynninga sem áttu sér stað á starfstíma stjórnarinnar. Þá efndi verkefnisstjórnin til sérstakrar kynningar á niðurstöðum faghópa þegar þær lágu fyrir vorið 2010 og leitaði þá jafnframt eftir athugasemdum við þær. Fjöldi athugasemda og ábendinga barst og hafa faghópar brugðist við þeim og haft þær til hliðsjónar við lokamat sitt. Upplýsingar um kynningarferlið er að finna á heimasíðu rammaáætlunar <http://www.rammaaaetlun.is/kynningar--og-umsagnarferli/>.

1.2.4 Kostnaður

Meginhluti kostnaðar við undirbúning rammaáætlunar liggur í undirbúningsrannsóknnum á þeim landsvæðum sem til greina hafa komið vegna virkjana. Sá kostnaður hefur verið greiddur af Orkustofnun og orkufyrirtækjum og er ekki tilgreindur hér. Einnig hafa margar stofnanir veitt aðgang að gagnasöfnum sínum vegna matsvinnu, sérstaklega Náttúrufræðistofnun og Veiðimálastofnun. Kostnaður við 1. áfanga rammaáætlunar var birtur í skýrslu verkefnisstjórnar 2003. Undirbúningur að 2. áfanga rammaáætlunar hefur verið kostaður af sérstakri fjárveitingu í umsýslu Orkustofnunar. Á árinu 2004 varði Orkustofnun 50,1 m.kr. til rannsókna á umhverfi og virkjunarhugmyndum er nýttust í þágu rammaáætlunar. Í töflu 1.1 er greint frá kostnaði sem efnt var til vegna áætlunarinnar sjálfrar á árunum 2005 - 2010. Líkt og í almennum undirbúningi felst hann að mestu í rannsóknnum sem gera þurfti til viðbótar fyrri athugunum en tiltölulega lítill hluti var vegna vinnu við matið sjálft. Þeir sem sátu í faghópum fengu greidda þóknun frá rammaáætlun fyrir fundarsetu og undirbúning fyrir fundi ef þeir áttu rétt til þess utan aðalstarfs og fengu það ekki greitt af þeim sem tilnefndi þá.

Rétt er einnig að nefna að iðnaðarráðuneytið greiddi launakostnað lausráðsins starfsmanns verkefnisstjórnar árið 2009 og framan af ári 2010 og styrkti að auki nokkur verkefni sem unnin voru fyrir faghóp II á sviði ferðamála. Á árinu 2011 er kostnaður vegna 2. áfanga rammaáætlunar áætlaður um 9 m.kr., að mestu vegna vinnu verkefnisstjórnar og útgáfu skýrslu.

Tafla 1.1 Sérstök fjárveiting í umsýslu Orkustofnunar vegna 2. áfanga rammaáætlunar 2005 – 2010.

Verkpættir	2005 - 2009	2010	Alls
	þkr	þkr	þkr
Vatnsaflsrannóknir	59.340	4.478	63.818
Háhitarrannsóknir	77.459	1.000	78.459
Náttúrufarsrannsóknir	201.836	2.000	203.836
Fornleifaskráning	11.000		11.000
Nefndalaun, fundakostnaður og ferðir	34.783	25.214	59.997
Verkefnisstjóri á Orkustofnun	10.434	1.907	12.341
Alls	394.852	34.599	429.451

1.2.5 Heimildir og gögn

Vinna faghópa rammaáætlunar styðst við og byggir á fjölmörgum heimildum. Heimildir sem vitnað er til í þessari skýrslu koma fram í neðanmálsgreinum á viðkomandi síðu og í heild í kafla 10. Í viðauka er að finna skrá yfir gögn sem orkufyrirtækin sendu verkefnisstjórn svo og önnur gögn er faghópar höfðu aðgang að.

Á vefsíðu rammaáætlunar (www.rammaaetlun.is) eru fyrri skýrslur verkefnisstjórnar¹ og ýmislegt ítarefni. Þar eru einnig listar sem gera grein fyrir prentuðum heimildum og einn heildarlisti með prentuðum heimildum í stafrófsröð. Einnig er þar að finna heimildalista sem tengjast einstökum virkjunarhugmyndum og matssvæðum.

Auk prentaðra heimilda kölluðu faghópar til sín fjölmarga sérfræðinga og sérfróða aðila á ýmsum sviðum. Þeirra er getið í fundargerðum faghópanna og í mörgum tilfellum fylgja glærukynningar þeirra og minnisblöð. Þá er ógetið fjölmargra samráðsfunda og heimsókna verkefnisstjórnar og faghópa á mörg matssvæði og virkjunarslóðir. Á vefsíðu rammaáætlunar liggur frammi listi yfir þá aðila sem sótt hafa samráðsfundi með verkefnisstjórn og einnig eru þar taldir aðrir kynningarfundir þar sem málefni rammaáætlunar hafa verið reifuð og kynnt.

Gögn og heimildir þessarar skýrslu, þ.á.m. greinargerðir formanna faghópa, má finna í heimildalistum á vef rammaáætlunar en þar sem ástæða þykir til er heimilda getið í einstökum efnisköflum skýrslunnar.

¹ Rammaáætlun, 2003a. *Niðurstöður 1. áfanga rammaáætlunar*. Verkefnisstjórn um gerð rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Iðnaðarráðuneytið, nóvember 2003, 75 bls. + viðaukar.

Rammaáætlun 2007. *Undirbúningur að 2. áfanga rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Framvinduskýrsla*, maí 2007, 81 bls.

Rammaáætlun 2010. *Niðurstöður faghópa. Kynningar- og umsagnarferli verkefnisstjórnar 2. áfanga*, mars 2010, 75 bls.

2 Gagnaöflun og undirbúningur

2.1 Orkugjafar og orkunotkun

Orkubúskapur Íslendinga byggist á jarðhita, vatnsafl og innfluttu eldsneyti. Orkunotkun á hvern íbúa hérlandis er með því mesta sem þekkist og hlutfall endurnýjanlegra orkugjafa er hærra en hjá öðrum þjóðum.

Hlutur innlendra orkulinda hefur aukist mikið á undanförunum áratugum. Rúmlega 80% af allri frumorku sem tekin er til vinnslu hér á landi eru innlend og koma frá vistvænum orkulindum. Árið 2007 komu um 15% frá vatnsafl og 67% frá jarðhita og um 18% frá innfluttum orkugjöfum, fyrst og fremst eldsneyti, þar af um 16% sem bensín og olía fyrir fiskveiði- og bílaflotann, og um 2% kol sem notuð eru í orkufrekum iðnaði.

Enda þótt Ísland búi yfir miklum orkulindum eru þær ekki óþrjótandi. Vinnslugeta fallvatna er allvel þekkt en mat á vinnslugetu jarðhitans er háð mörgum óvissuþáttum sem lúta að eiginleikum auðlindarinnar, tæknilegum möguleikum, auk hagkvæmni og umhverfissjónarmiðum fyrir báðar gerðir orkulindanna. Árið 2009 nam árleg raforkuvinnsla á Íslandi um 16.900 GWh². Þar af komu um 73% frá vatnsorkuverum (um 12.300 GWh) og um 27% frá jarðvarmavirkjunum (4.600 GWh).

Árlegur vöxtur raforkuþarfar vegna almennrar notkunar nemur aðeins rúmum 50 GWh á ári. Þeirri þörf mætti sinna með litlum virkjunum sem hefðu hver um sig lítil umhverfisáhrif - þótt annað sjónarmið sé það að ein stór virkjun geti haft minni umhverfisáhrif en margar litlar. Verulegur áhugi er á að nýta orkulindirnar fyrir stórnotendur en margir eru þó á öndverðri skoðun. Í fjarlægari framtíð er m.a. horft til framleiðslu eldsneytis með raforku og jafnvel flutnings hennar um sæstreng til annarra landa.

Með vaxandi orkuþörf samhliða ótta við loftslagsbreytingar vegna losunar gróðurhúsalofttegunda verður endurnýjanleg orka sífellt verðmætari. Æskilegt verður að nýta slíkar orkulindir svo fremi að það sé gert á sjálfbæran og vistvænan hátt. Á sama tíma vex jafnframt þörf og áhugi fólks fyrir útivist og tilvist ósnortinnar náttúru sem mótvægis við þéttbýlt manngert umhverfi. Það er einmitt í þessu samhengi sem mikilvægi *rammaáætlunar um vernd og nýtingu náttúrusvæða með áherslu á vatnsafl og jarðhitasvæði* kristallast.

2.2 Virkjunarhugmyndir til mats

Í 1. áfanga rammaáætlunar, 1999-2003, var kastljósi beint að virkjunarhugmyndum í jökulám, og á háhitasvæðum sem voru nærri byggð. Áfanginn skilaði mati á 19 virkjunarhugmyndum í 10 jökulám og 24 hugmyndum á 11 háhitasvæðum.

Frá upphafi var að því stefnt að umfjöllun 2. áfanga rammaáætlunar næði til mun fleiri virkjunarhugmynda. Í fyrsta lagi skyldi fjalla um nýjar vatnsaflshugmyndir eða breyttar útfærslur eldri hugmynda og í öðru lagi skyldi meta allar áformaðar jarðvarmahugmyndir á háhitasvæðum, en ekki voru tök á slíku heildarmati í 1. áfanga sökum skorts á gögnum.

² 1 GWh er jafnt og 1 milljón kWst.

Bent skal á að rammaáætlun er aðeins ætlað að taka til mats virkjunarhugmyndir þar sem afl er meira en 10 MW.

Virkjunarhugmyndir sem koma til mats undir 2. áfanga rammaáætlunar eru mjög misjafnlega á vegi staddar. Í sumum tilfellum er um frumhugmyndir að ræða sem eftir er að útfæra eða byggja á eldri áformum sem kalla á verulega endurskoðun. Í öðrum tilfellum er um að ræða fullhannaðar virkjanir sem jafnvel eru komnar á framkvæmdastig. Nánar er gerð grein fyrir þessu í 7. kafla. Upplýsingar um allar virkjunarhugmyndir sem fjallað er um í 2. áfanga rammaáætlunar er að finna í töflum 2.1 og 2.2 aftast í þessum undirkafla ásamt skýringum, og í töflum 6.4 og 7.2 í 6. og 7. kafla. Þótt tölur um afl séu skráðar með nákvæmninni 1 MW er óvissa í hverju tilviki nær því að vera 10 MW og í vinnslugetu a.m.k. 80 GWh/ár. Auk þess er mikil óvissa um stærð virkjana á háhitasvæðum sem byggðar verða í áföngum. Þar munu viðbrögð jarðhitakerfisins við vinnslu ráða endanlegri stærð.

Í heild telur listi 2. áfanga rammaáætlunar 40 vatnsaflshugmyndir, þar af fjórar veitur sem ekki eru virkjanir. Af þessum hugmyndum höfðu 14 komið til kasta 1. áfanga en hönnun og útfærslu sumra hafði verið breytt. Í nokkrum tilfellum var um að ræða ólíkar hugmyndir í sama fallvatni sem útilokuðu hver aðra. Heildar orkuvinnslugeta þessara hugmynda í fallvötnum er því um 16.600 GWh/ár. Auk þess eru í 2. áfanga metnar 44 hugmyndir um virkjun jarðvarma á um 20 háhitasvæðum eða helmingi fleiri en skoðaðar voru í 1. áfanga (24 hugmyndir). Áætluð orkuvinnslugeta jarðvarmahugmynda 2. áfanga rammaáætlunar er enn mjög óviss þar sem ekki hefur verið sannreynt hvernig svæðin reynast í borunum né hve lengi þau endast. Hún gæti þó numið 30.000 GWh. Annar áfangi rammaáætlunar hefur þannig til skoðunar virkjunarhugmyndir með orkuvinnslugetu sem gæti numið 46.600 GWh eða tæplega þrefaldri þeirri raforku sem þegar er framleidd í landinu.

Töflum 2.1 og 2.2 fylgir sérprentað Kort 2.1 þar sem merktar eru inn virkjunarhugmyndir sem komu til mats. M.a. koma fram þau lónstæði og jarðgöng sem vatnsaflshugmyndunum fylgja og útmörk háhitasvæða samkvæmt viðnámsmælingum sem fram hafa farið. Einnig eru merktar inn þær virkjanir sem þegar eru í rekstri.

Lýsingar á þeim virkjunarhugmyndum sem til umfjöllunar eru í 2. áfanga byggja á skýrslum og gögnum frá orkufyrirtækjum, Ísor og Orkustofnun og mörgum lýsingum fylgja kort og teikningar. Í nokkrum tilfellum voru gögn afar takmörkuð eða úrelt. Þetta á t.d. við um vatnsaflshugmyndir í Hvítá í Borgarfirði, Eyjadalsárvirkjun í Skjálfandafljóti, Hverfisfljóti í V-Skaftafellssýslu, Hvítá í Árnessýslu og jarðvarmahugmyndirnar Öskju og Hrúthálsa. Þegar vinnu við mat faghópa I og II var lokið kom fram ný hugmynd um tilhögun Selfossvirkjunar. Hún var rædd í verkefnisstjórn en ekki tekin með í röðun hennar. Þar þyrfti einkum að huga að áhrifum virkjunar á fiskgengd í Hvítá og vatnasvið hennar.

Lýsingarnar liggja frammi á vef rammaáætlunar (www.rammaaetlun.is).

Skýringar við töflur 2.1 og 2.2 yfir virkjunarhugmyndir 2. áfanga rammaáætlunar

1. Landshluti

2. Heiti virkjunarhugmyndar

3. Staðsetning

Stutt lýsing á staðsetningu virkjunarhugmyndar.

4. Staðarnúmer

Hver virkjunarhugmynd fékk staðarnúmer rammaáætlunar. Vatnsaflshugmyndir 1-40 og jarðvarmahugmyndir 61-104. Ónotuð númer frá 41-60 voru geymd fyrir mögulegar nýjar vatnsaflshugmyndir.

5. Virkjunarhugmyndir 1. áfanga

Virkjunarhugmyndir sem metnar voru í 1. áfanga.

6. Áætlað afl og orkuvinnslugeta virkjunarhugmynda

Aflið er gefið upp í MW; orkuvinnslugetan í GWh/ár; nýtingartími gefur upp þann fjölda klst. á ári sem áætlað er að virkjunin framleiði rafmagn. Orkuvinnslugetan fæst með því að margfalda saman aflið og nýtingartímann og deila með 1000 til að einingin verði í GWh/ár. Í vatnsafla er heildarsumma allra virkjunarhugmynda 22.579 GWh/ár en frá henni dragast þær hugmyndir sem víkja ef aðrar hugmyndir nýta sama afl. Þá standa eftir 16.614 GWh/ár. Í jarðhita er heildarsumman 30.681 GWh/ár.

7. Hagkvæmniflokkun virkjunarhugmynda

Áætlun faghóps IV. Hópurinn skilgreindi 6 hagkvæmniflokka sem byggðu á hlutfalli áætlaðs stofnkostnaðar og orkuvinnslugetu kr/(kWh/ár). Nánari lýsingu á aðferðafræðinni er að finna í 6. kafla um starf faghóps IV. Hagkvæmniflokkarnir (á verðlagi í janúar 2009) eru:

1. Undir 27 kr/(kWh/ár)
2. 27-33 kr/(kWh/ár)
3. 33-40 kr/(kWh/ár)
4. 40-53 kr/(kWh/ár)
5. 53-66 kr/(kWh/ár)
6. Yfir 66 kr/(kWh/ár)

8. Tengikostnaður virkjana

Áætlaður kostnaður vegna tengingar virkjunar við raforkukerfi landsins eða notkunarstað. Kostnaðartala byggir á orkuframleiðslu og er gefin upp sem kr/(kWh/ár). Nánari lýsingu á aðferðafræðinni er að finna í 6. kafla um starf faghóps IV.

Tafla 2.1 Virkjunarhugmyndir í vatnsaflí til mats í 2. áfanga rammaáætlunar

Landshluti	Vatnsfall/-svæði	Staðsetning	Staðar-númer	1. áfangi	Afl- og orka - Áætlun			Hag-kvæmni-flokkun	Tengi-kostnaður Kr/kWh/a
					Afl	Orkugeta	Klsta/a		
					MW	GWh/a			
Vesturland	Hvítá í Borgarfirði	Kljáfoss	1		20	125	6250	5	5,52
	Glámuvírkjun	Hálendi Vestafjarða/Hestfirðir	2		67	400	5970	5	2,07
	Skúfnavatnavírkjun	Þverá, Langadalströnd	3		8,5	60	7059	5 (OS)	18,17
Norðurland	Hvalá	Hálendi Vestfjarða - Ófeigsfirðir	4		35	259	7400	5	5,65
	Blönduveita	2 nýjar virkjanir á veitusvæði Blönduvírkjunnar	5		28	180	6429	4	2,66
	Skatastaðavírkjun B	Austari Jökulsá í Austurdal, innst í Skagafirði	6	x	184	1260	6848	3	1,24
	Skatastaðavírkjun C	Austari Jökulsá innst í Skagafirði	7		156	1090	6987	4	1,43
	Villinganesvírkjun	Næðan ármóta A- og V-Jökulsáa, Skagafirði	8	x	33	215	7180	4	1,51
	Fjótshnúksvírkjun	Skjálfandafjót (hálendi)	9	x	58	405	6983	5(OS)	6,01
	Hrafnabjargavírkjun A	Skjálfandafjót (ofan Bárðardals)	10	x	89	622	6988	3 (OS)	1,72
	Eyjadalavírkjun	Skjálfandafjót í Bárðardal	11		8	58	7250	5 (OS)	4,28
	Arnardalsvírkjun	Jökulsá á Fjöllum yfir í Jökuldal/Fjóttsdal	12	x	570	4000	7017	2 (OS)	0,60
	Helmingsvírkjun	Jökulsá á Fjöllum yfir í Fjóttsdal	13		270	2100	7778	4 (OS)	0,24
Suðurland	Djúpá	Úr Vatnajökli um Fjótshverfi	14		75	498	6640	4 (OS)	1,19
	Hverfisfjót	Úr Slöjujökli um Fjótshverfi	15		40	260	6500	4 (OS)	2,68
	Skafarveita með miðlun í Langasjó	Úr Skafarjökli; veita til Tungnaár um Langasjó	16	x		465		1	-
	Skafarveita án miðlunar í Langasjó	Úr Skafarjökli; veita til Tungnaár utan Langasjávar	17			245		2	-
	Skafarvírkjun	Skafá yfir í Tungufjót	18	x	125	760	6080	3	1,78
	Hólmsárvírkjun - án miðlunar	Austan Torfajökuls	19	x	72	450	6250	3	3,74
	Hólmsárvírkjun - miðlun í Hólmsarlóni	Austan Torfajökuls	20		72	470	6528	3	3,20

Landshluti	Vatnsfall/-svæði	Staðsetning	Staðar-númer	1. áfangi	Afl- og orka - Áætlun			Hag-kvæmni-flokkun	Tengi-kostnaður Kr/kWh/a
					Afl	Orkugeta	Klst/a		
	Hólmsárvirkjun neðri	Við Atley, efst í Skaftártungum	21		65	480	7385	3	4,18
	Markarfljótsvirkjun A	Austan Tindfjallajökuls	22	x	14	120	8571	5 (OS)	17,85
	Markarfljótsvirkjun B	Austan og norðaustan Tindfjallajökuls	23	x	109	735	6743	4 (OS)	2,35
	Tungnaárón ¹	Vatnasvæði Þjórsár, Tungnaá	24			270		1	-
	Bjallavirkjun	Vatnasvæði Þjórsár: neðan Tungnaáróns	25		46	340	7391	3	1,35
	Skrokkölduvirkjun	Vatnasvæði Þjórsár: Úr Hágöngulóni til Kvíslarveitu	26		35	242	6914	4	10,30
	Norðlingaölduveita ¹ - 566-567,5 m y.s.	Vatnasvæði Þjórsár: Sunnan Þjórsárvera	27			635		1	-
	Búðarhálsvirkjun	Þjórsá: Milli Hrauneyjafoss og Sultartangalóns	28	x	80	585	7313	3	1,45
	Hvammsvirkjun	Neðri-Þjórsá	29	x	82	665	8110	4	0,69
	Holtavirkjun	Neðri-Þjórsá	30	x	53	415	7830	4	0,80
	Urriðafossvirkjun	Neðri-Þjórsá	31	x	130	980	7538	2	0,40
	Gýgjarfossvirkjun	Jökulfall, Kjölur	32		21	146	6952	5 (OS)	21,50
	Bláfellsvirkjun	Hvítá, sunnan Hvítárvatns	33		76	536	7053	4 (OS)	2,65
	Búðartunguvirkjun	Hvítá, Árn: N Gullfoss, sunnan Fremstavers	34		50	320	6400	4 (OS)	1,88
	Haukholtsvirkjun	Hvítá, Árn: Haukholt í Hrunamannahreppi	35		60	358	5967	4 (OS)	1,90
	Vörðufell	Hvítá, Árn: Dæluvirkjun í Vörðufelli á Skeiðum	36		52	170	3269	5 (OS)	2,04
	Hestvatnsvirkjun	Hvítá, Árn: Við Hestfjall/-vatn í Grímsnesi	37		40	300	7500	4 (OS)	1,74
	Selfossvirkjun	Ölfusá	38		30	250	8333	3 (OS)	0,53
	Hagavatnsvirkjun	Sunnan Eystri-Hagafellsjökuls (Langjökull)	39		20	140	7000	5	6,14
	Bulandsvirkjun	Skaftá	40		150	970	6475	2	1,50
						22.579			
	¹ Veitur			Net:		16.614			

¹ Veitur

Tafla 2.2 Virkjunarhugmyndir á háhitasvæðum til mats í 2. áfanga rammaáætlunar										
Landshluti	Vatnsfall/-svæði	Staðsetning	Staðar-númer	1. áfangi	Afl- og orka - Áætlun			Hag-kvæmni-flokkun	Tengi-kostnaður Kr/kWh/a	
					Afl	Orkugeta	Klst/a			
										MW
Reykjaneskagi	Reykjanes	Yst á sunnanverðum Reykjaneskaga	61	X	80	568	7100	2,5	0,74	
	Stóra-Sandvík	N við Reykjanesstá	62		50	410	8200	2,5	1,39	
Krýsvíkur-svæði	Eldvörp (Svartsengi)	Líklega samtengd svæði	63	X	50	410	8200	3	0,91	
	Sandfell	Lengra SV við Kleifarvatn	64	X	50	410	8200	3	1,92	
	Trölladyngja	Milli Kleifarvatns og Keilis	65	X	50	410	8200	3	1,46	
	Sveifluháls	Krýsvíkursvæði	66		50	410	8200	2	1,79	
Brennisteins-fjöll	Austurengjar	Krýsvíkursvæði	67		50	410	8200	2	2,32	
	Brennisteinsfjöll	Milli Kleifarvatns og Heiðarinnar háu	68	X	25	200	8000	3 (OS)	3,63	
Hengilssvæði	Meitillinn	S Gráuhnúka	69		45	369	8200	3	0,85	
	Gráuhnúkar	S vegar í Hveradalsbrekku	70		45	369	8200	3	0,92	
	Hverahlöð	Sunnan vegar á há-Hellisheiði	71	X	90	738	8200	3	0,54	
	Hellisheiði	Nálægt Kolviðarhóli	72	X	90	738	8200	3	0,38	
	Innstidalur	Í suðaustanverðum Hengli	73	X	45	369	8200	3	0,44	
	Bitra	Austan Hengils	74	X	90	738	8200	3	0,62	
	Þverárdalur (Ölfusvatnslendur)	Við NA-jaðar háhitasvæðisins	75		90	738	8200	3	0,48	
	Ölfusdalur	Ofan Hveragerðis	76		10	82	8200	2,5	0,97	
Geysir	Grændalur	N frá Hveragerði	77	X	120	984	8200	3	0,48	
	Geysir		78		25	200	8000	3 (OS)	2,55	
Kerlingarfjöll	Hverabotn	Suðvestan Hofsjökuls	79		49	392	8000	3 (OS)	5,37	
	Næðri-Hveradalir	Suðvestan Hofsjökuls	80		49	392	8000	3 (OS)	5,29	
	Kisubothnar	Suðvestan Hofsjökuls	81		49	392	8000	3 (OS)	5,06	
	Þverfell	Suðvestan Hofsjökuls	82		49	392	8000	3 (OS)	5,64	
Kjölur	Hveravellir	Kjölur	83	X	70	560	8000	3 (OS)	4,72	

Landshluti	Vatnsfall/-svæði	Staðsetning	Staðar- númer	1. áfangi	Afl- og orka - Áætlun			Hag- kvæmni- flokkun	Tengi- kostnaður Kr/kWh/a
					Afl	Orkugeta	Klsta/a		
						MW			
Torfajökull	Blautakvísl	A Rauðfossafjalla, SV Reykjadal	84		181	1.448	8000	3 (OS)	1,52
	Vestur-Reykjadalir	V Landmannalauga, V Hrafninnmuhrauns	85	X	181	1.448	8000	3 (OS)	1,64
	Austur-Reykjadalir	V Landmannalauga, V Hrafninnmuhrauns	86	X	181	1.448	8000	3 (OS)	1,67
	Ljósartungur	V Torfajökuls	87	X	181	1.448	8000	3 (OS)	2,01
	Jökultungur	Sunnan Jökulgils, Vestan Kaldaklofsfjalla	88	X	181	1.448	8000	3 (OS)	2,10
Hálendið	Kaldaklof	V Torfajökuls	89	X	181	1.448	8000	3 (OS)	2,00
	Landmannalaugar	N Torfajökuls	90	X	181	1.448	8000	3 (OS)	1,51
	Hágönguvirkjun, 1. áfangi	Hágöngulón	91	X	45	369	8200	3	7,51
	Hágönguvirkjun, 2. áfangi		104		90	738	8200	2	3,00
	Vonarskarð	Milli Vatnajökuls og Tungnafellsjökuls	92		145	1.160	8000	3 (OS)	4,67
Mývatnssvæði	Kverkfjöll	Norðan Vatnajökuls	93		155	1.240	8000	3 (OS)	5,03
	Askja	Dyngjufjöll	94		135	1.080	8000	3 (OS)	2,81
	Hrúthálsar	Ódádahraun, NNV af Herðubreið	95		20	160	8000	3 (OS)	
	Fremrinámar	Milli Mývatns og Herðubreiðafjalla	96		45	369	8200	3	5,53
	Bjarnarflag	Austan Mývatns	97	X	90	738	8200	2	0,70
	Krafla I- stækkun	NA-Mývatns	98	X	40	320	8000	2	0,63
	Krafla II, 1. áfangi		99	X	45	369	8200	2	1,63
	Krafla II, 2. áfangi		103		90	738	8200	2	0,81
	Gjástykki	Norðan Kröflu	100		45	369	8200	3	1,71
	Peistareykir		102		180	1.476	8200	2	0,41
	Peistareykir- Vestursvæði	Há-N Mývatns og V Gjástykkis	101		90	738	8200	2	1,95
						30.681			

2.3 Gagnaöflun

2.3.1 Rannsóknir

Rannsóknir til undirbúnings 2. áfanga rammaáætlunar hófust í tíð fyrri verkefnisstjórnar sem starfaði á árunum 2004 – 2007. Starfi hennar er lýst í framvinduskýrslu sem birtist í maí 2007.³ Lögð var áhersla á að fá heildarmat á sem flestum háhitasvæðum, undirbúa fleiri virkjunarhugmyndir til mats og bæta gögn um ýmsar hugmyndir sem teknar voru fyrir í 1. áfanga eða endurskoðaðar hugmyndir um tilhögun virkjunar.

Rannsókn háhitasvæða

Um háhita var það markmið sett að taka fyrir með samræmdum hætti öll þekkt háhitasvæði á landinu, nema þau sem eru undir jökulum. Fyrri verkefnisstjórnin skipaði sér til aðstoðar ráðgjafahóp um mat á háhitasvæðum. Í honum sátu Stefán Arnórsson, Háskóla Íslands, formaður; Ásrún Elmarsdóttir, Náttúrufræðistofnun Íslands; Bjarni Pálsson, Landsvirkjun, fulltrúi Samorku; Haukur Jóhannesson, Íslenskum orkurannsóknum; og Sigurrós Friðriksdóttir, Umhverfisstofnun. Hópurinn ákvað til hvaða háhitasvæða matið ætti að ná, og hvernig best væri að skipta upp stórum háhitasvæðum í möguleg vinnslusvæði. Einnig var lokið greinargerð um afmörkun svæðanna, og gerður listi yfir helstu heimildir sem að gagni koma fyrir það mat.

Samið var við Íslenska orkurannsóknir um jarðhitakortlagningu í Kerlingarfjöllum og á Hveravöllum, Prestahnúk og Hrúthálsum. Viðnámsmælingar voru gerðar á fyrrnefndu svæðunum en þeim var frestað í Hrúthálsum vegna takmarkaðs fjár. Viðnámsmælingar við Prestahnúk leiddu í ljós vafa á því að þar sé háhitasvæði.

Fyrirtækið Prokaria og síðar Matís annaðist rannsókn á lífríki í hverum á fimm háhitasvæðum á vegum rammaáætlunar árin 2004 – 2009.⁴ Markmiðið var að svara spurningum um hve mikill og hvers eðlis breytileikinn er í örveruflóru milli háhitasvæðanna sem rannsökuð voru, einkum m.t.t. fjölbreytni og fágætra hópa. Til skoðunar voru Hengilssvæði, Torfajökulssvæði, Krafla/Námafjall, Krýsuvík og Vonarskarð. Ennfremur voru niðurstöður úr sambærilegri rannsókn sem gerð var vegna umhverfismats á jarðhitasvæðunum á Þeistareykjum og í Gjástykki hafðar með í þessari samantekt.

Unnið var að rannsókn á súrum ummyndunum á háhitasvæðum, en slíkar jarðmyndanir eru ábyrgar fyrir litskrúði svæðanna. Súrar ummyndanir eru afleiðing efnahvarfa þar sem örverur geta ráðið miklu. Vel gekk að samtvinna þetta verkefni og örverurannsóknir. Verkið var unnið af Jarðvísindastofnun Háskólans með aðstoð Íslenskra orkurannsókna.⁵

³ Rammaáætlun, 2007. *Undirbúningur að 2. áfanga Rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Framvinduskýrsla*, maí 2007, 81 bls.

⁴ Sólveig K. Pétursdóttir, Snædís H. Björnsdóttir, Guðmundur Óli Hreggviðsson og Sólveig Ólafsdóttir, 2010. *Lífriki í hverum á háhitasvæðum á Íslandi*. Heildarsamantekt unnin vegna Rammaáætlunar. Lokaskýrsla. Líftækni og lífefni. Skýrsla Matís 42-10, desember 2010, 41 bls.

⁵ Andri Stefánsson, Þráinn Friðriksson, Sigurður H. Markússon og Júlía K. Björke, 2010. *Jarðhitavatn, ummyndun og útfellingar á yfirborði háhitasvæða á Íslandi*. Unnið fyrir Orkustofnun. Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands og Íslenskar orkurannsóknir. RH-01-2010, ÍSOR-2010/006, 67 bls.

Náttúrufræðistofnun Íslands setti í mars 2005 fram tillögur að verkáætlun um rannsóknir á náttúrufari og verndargildi háhitasvæða. Meginmarkmið hennar var að fá yfirlit yfir einkenni háhitasvæða og þróa aðferðir til að meta verndargildi þeirra út frá þekktum verndarviðmiðum og koma niðurstöðum verkefnisins á framfæri á þann hátt að þær nýtist sem flestum aðilum sem fara með verndun, nýtingu, skipulag og aðrar ákvarðanir sem lúta að háhitasvæðum. Samið var við Náttúrufræðistofnun um þetta verkefni. Upplýsingum um tegundir plantna, smádýra, fugla og gróðurfar var safnað saman fyrir 18 háhitasvæði⁶. Gróður var rannsakaður á 17 háhitasvæðum og 15 undirsvæðum þeirra⁷. Jarðfræði, landmótun og yfirborðsummerki jarðhita voru flokkuð á 18 háhitasvæðum og 21 undirsvæði þeirra⁸.

Rannsókn vatnsfalla

Í 1. áfanga rammaáætlunar var að því stefnt að bera saman allar helstu virkjunarhugmyndir í stærstu jökulám landsins óháð því hvaða hugmyndir lægju fyrir um nýtingu eða verndun. Þetta tókst að mestu leyti en þó varð að fresta athugunum sem sneru að Jökulsá á Fjöllum og Efri-Hvítá í Árnessýslu. Skýrslur með endurskoðuðum hugmyndum um virkjun hafa nú komið út og eru aðgengilegar á heimasíðu rammaáætlunar (os.is/page/rammi). Þá var eftir að kanna náttúrufar við Djúpá í Fljótshverfi, en því er nú lokið. Einnig var hafin athugun á virkjunarhugmyndum Hvalár í Ófeigsfirði.

Endurreiknuð var tilhögun við virkjun Jökulsár á Fjöllum, í stað þess að notast við grófa uppfærslu miðað við vísitölur, eins og gert var í 1. áfanga. Jafnframt var farið betur í saumana á forsendum hennar, einkum vegna augljósra erfiðleika sem stafa af miklum aurburði í ánni. Við endurskoðun er borið saman að virkja í einum áfanga í stað tveggja og að virkja án miðlunar. Bætt var við vistgerðakortlagningu í Fagradal við Kreppu, til að auka þekkingu á vistgerðum í gróðurvinjum sem eru einkennandi fyrir Krepputungu og nánasta nágrenni Jökulsár á Fjöllum.

Í Efri-Hvítá í Árnessýslu voru 30 ára gamlar áætlanir endurskoðaðar⁹. Meginviðfang þeirra er að meta miðlunarþörf, og hvernig mætti uppfylla hana án þess að hækka vatnsborð í Hvítárvatni sem neinu næmi. Miðlun er ráðandi um áhrif á rennsli í Gullfossi. Kannað er hvort hagkvæmt sé að ná hluta miðlunarinnar í Jökulfalli norðan Kerlingarfjalla, og/eða með niðurdrætti í Hvítárvatni.

Í 1. áfanga tókst að ljúka verkfræðiáætlun um virkjun Djúpár með veitum af vatnasviði Núpsár. Ekki voru tök á viðeigandi náttúrufarsrannsóknum. Fyrir vistgerðamat á hálendinu var fengur að því að fá inn mat á tveimur daldrögum í mismunandi hæð í mjög úrkomusömu

⁶ Ásrún Elmarsdóttir, Erling Ólafsson, Guðmundur Guðjónsson, Hörður Kristinsson, Kristinn Haukur Skarphéðinsson, Olga Kolbrún Vilmundardóttir og Rannveig Thoroddsen, 2009. *Gróður, fuglar og smádýr á 18 háhitasvæðum. Samantekt fyrirbyggjandi gagna*. Unnið fyrir Orkustofnun. Náttúrufræðistofnun Íslands. NÍ-09015, Reykjavík, október 2009, 143 bls. +19 kort.

⁷ Ásrún Elmarsdóttir og Olga Kolbrún Vilmundardóttir, 2009. Flokkun gróðurs og landgerða á háhitasvæðum Íslands. Unnið fyrir Orkustofnun. Náttúrufræðistofnun Íslands. NÍ-09013, Reykjavík, október 2009, 137 bls.

⁸ Kristján Jónasson og Sigmundur Einarsson, 2009: *Jarðminjar á háhitasvæðum Íslands. Jarðfræði, landmótun og yfirborðsummerki jarðhita*. Unnið fyrir Orkustofnun vegna 2. áfanga Rammaáætlunar. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ – 09012, Reykjavík, október 2009, 149 bls.

⁹ VGK-Hönnun, 2007. *Virkjanir í Efri-Hvítá ofan Gullfoss. Forathugun*. Unnið fyrir Orkustofnun vegna Rammaáætlunar. OS-2006/009, febrúar 2007, 35 bls. + fylgiskjöl.

fjalllendi. Því var samið við Náttúrufræðistofnun um að bæta þessu svæði í safnið¹⁰.

Samið var við Náttúrufræðistofnun Íslands um kortlagningu vistgerða á vatnasviði Skjálfandafljóts¹¹. Einnig lauk Náttúrufræðistofnun heildarskýrslu um vistgerðir á miðhálandi Íslands en það verkefni hófst í 1. áfanga rammaáætlunar¹².

Endurbætt aðferðafræði við mat á landslagi

Í skipunarbréfi fyrri verkefnisstjórnar var ábending um að huga betur að mati á landslagi, ekki síst aðferðafræði. Verkefnisstjórnin ákvað að kalla til sérfræðinga sem hafa fengist við mat á landslagi sér til ráðleggingar, fyrst um nauðsynlega gagnaöflun og síðar til væntanlegrar þátttöku í mati á landslagsgildum. Stefnt var að rannsóknum í tveimur þáttum. Annars vegar greiningu og flokkun landslags eftir sjónrænum viðmiðum og mat á fjölbreytni og fágæti landslagsgerða. Skýrslu um þann hluta var skilað í janúar 2010¹³. Hins vegar átti að meta fagurfræðilegt og tilfinningalegt gildi landslags og upplifunargildi þess. Þar yrði byggt á niðurstöðum fyrri hlutans en fagurfræðilegt gildi og upplifunargildi m.a. metið með skoðanakönnunum meðal almennings. Ekki tókst að afla fjár til að vinna þennan hluta verkefnisins.

Menningarminjar

Vakin var athygli á að það skorti sárlega grunnrannsóknir sem hægt væri að styðjast við vegna mats á áhrifum hugsanlegra virkjana á menningarminjar. Í framhaldi af því var gerður samningur við Fornleifavernd ríkisins, um mitt ár 2008, um skráningu fornleifa á háhitasvæðum og til að þróa samræmdar skráningaraðferðir og mat á gildi minjanna. Afrakstur vinnunnar birtist í 18 skýrslum haustið 2008. Eftirfarandi svæði voru rannsökuð: Geysir, Torfajökulssvæðið, Svartsengi – Eldvörp, Brennisteinsfjöll, Krýsuvík – Trölladyngja, umhverfi Reykjanesvirkjunar, Askja og Sigurðarskarð, Fremrinámar, Kverkfjöll, Hróthálsar, Krafla – Námafjall, Hveravellir, Kerlingarfjöll, Þeistareykir, Gjástykki, Vonarskarð, Hágöngur, Hengill og umhverfi. Um var að ræða nákvæma vettvangskráningu á áður afmörkuðum svæðum. Allar fornleifar, sem fundust á svæðunum, voru staðsettar með GPS- tækni. Þær voru mældar nákvæmlega upp, þeim var lýst og reynt að ákvarða aldur þeirra. Það var meðal annars gert út frá skriflegum heimildum, þar sem þær voru til staðar. Þá voru minjarnar settar í sögulegt samhengi út frá heimildum Gerð var tilraun með matskerfi fyrir varðveislugildi minjanna en sams konar aðferðafræði hefur

¹⁰ Regína Hreinsdóttir og Guðmundur Guðjónsson, 2008. *Gróðurkort af virkjunarsvæði fyrirhugaðrar Djúpárvirkjunar í Vestur-Skaftafellssýslu*. Unnið fyrir Orkustofnun vegna Rammaáætlunar. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-08013, Reykjavík, desember 2008, 24 bls. + kort.

¹¹ Borgþór Magnússon, Guðmundur Guðjónsson, Guðmundur A. Guðmundsson, Kristbjörn Egilsson, Kristinn Haukur Skarphéðinsson, Sigurður H. Magnússon og Starri Heiðmarsson, 2009. *Vistgerðir á miðhálandi Íslands, Skjálfandafljót*. Unnið fyrir Orkustofnun vegna Rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-09009, Reykjavík, september 2009, 62 bls. + 5 kort.

¹² Sigurður H. Magnússon, Borgþór Magnússon, Erling Ólafsson, Guðmundur Guðjónsson, Guðmundur A. Guðmundsson, Hörður Kristinnsson, Kristbjörn Egilsson, Kristinn H. Skarphéðinsson, Starri Heiðmarsson og Jón Gunnar Ottósson, 2009. *Vistgerðir á miðhálandi Íslands. Flokkun, lýsing og verndargildi*. Unnið vegna Rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ – 09008, Reykjavík, júní 2009, 172 bls. + kort.

¹³ Þóra Ellen Þórhallsdóttir, Þorvarður Árnason, Hlynur Bárðarson og Karen Pálsdóttir, 2010. *Íslenskt landslag. Sjónræn einkenni, flokkun og mat á fjölbreytni*. Unnið fyrir Orkustofnun vegna rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Háskóli Íslands. Reykjavík, janúar 2010, 161 bls.

verið notuð við úttekt stofnunarinnar á friðlýstum fornleifum.¹⁴ Mikill munur var milli svæða hversu margar og fjölbreyttar minjar þau höfðu að geyma. Sum höfðu fáar eða engar minjar (Vonarskarð, Hágöngur, Kverkfjöll, Askja, Kerlingarfjöll) á meðan önnur höfðu ríkulegar og/eða einstakar minjar með hátt minjagildi, svo sem minjar um brennisteinsnám í Fremrinámum og Brennisteinsfjöllum, útileguminjar í Eldvörpum og Hveravöllum, minjar um seljabúskap á Krýsuvíkursvæðinu, minjar um fornar leiðir á Hengilssvæðinu og fornþýli á Þeistareykjum, Krýsuvík og á Kröflusvæðinu.

2.3.2 Eðli jarðhita og nýting hans

Til að mæta óskum iðnaðarráðherra um drög að reglum um lágmörkun umhverfisáhrifa við framkvæmdir á háhitasvæðum og sjálfbæra nýtingu jarðvarma fól verkefnisstjórnin Stefáni Arnórssyni prófessor að skrifa álitserð um jarðhita á Íslandi, eðli auðlindarinnar og endingu, verklag við undirbúning að vinnslu og umhverfisáhrif nýtingar. Álitserð hans er Viðauki 3 með þessari skýrslu¹⁵, en meginniðurstöður fara hér á eftir:

Alls eru þekkt 19 háhitasvæði á Íslandi sem eru tæknilega nýtanleg. Borað hefur verið í 9 þeirra. Flatarmál þessara svæða hefur verið metið með viðnámsmælingum og fleiri aðferðum. Samkvæmt niðurstöðum Guðmundar Pálmasonar o.fl., 1985¹⁶ er flatarmál einstakra svæða frá 2 til 140 km² en nýrra mat Jónasar Ketilssonar o.fl., 2009¹⁷ gefur 5-253 km². Orkuforðinn í þessum svæðum er talinn duga til að framleiða 3.500 MW rafafis í 50 ár samkvæmt Guðmundi Pálmasyri o.fl., 1985 en 4.200 MW_e fyrir sama tímabil samkvæmt Jónasi Ketilssyni o.fl., 2009. Nefndar afltölur segja þó ekkert til um raunverulega aflgetu einstakra svæða. Þær byggjast einfaldlega á því að umbreyta hluta af metnum orkaforða yfir í rafafis og miða við 50 ára endingartíma. Upplýsingar um afl einstakra svæða fást ekki nema með borunum, eins og skýrt kemur fram í Jarðhitabók Guðmundar Pálmasonar, 2005¹⁸.

14 Fornleifavernd ríkisins, 2008.

Askja og Sigurðarskarð. Úttekt á fornleifum. Inga Sóley Kristjónudóttir 2008:6
Brennisteinsfjöll. Fornleifaskráning. Agnes Stefánsdóttir 2008:4
Fremrinámar. Fornleifaskráning. Inga Sóley Kristjónudóttir 2008:10
Geysir. Fornleifaskráning. Magnús A. Sigurðsson 2008:2.
Gjástykki. Úttekt á fornleifum. Sigurður Bergsteinsson 2008:15
Hengill og umhverfi. Fornleifaskráning. Kristinn Magnússon 2008:9
Hrúthálsar. Úttekt á fornleifum. Inga Sóley Kristjónudóttir 2008:14
Hveravellir og Kerlingarfjöll. Fornleifaskráning. Þór Hjaltalín 2008:5
Krafla – Námafjall. Fornleifaskráning. Inga Sóley Kristjónudóttir 2008:12
Krýsuvík – Trölladyngja. Fornleifaskráning. Agnes Stefánsdóttir 2008:16
Kverkfjöll. Úttekt á fornleifum. Inga Sóley Kristjónudóttir 2008:8
Svartsengi – Eldvörp. Fornleifaskráning. Agnes Stefánsdóttir 2008:7
Torfajökull og umhverfi. Fornleifaskráning. Magnús A. Sigurðsson, Sólborg Una Pálsdóttir 2008:1
Umhverfi Reykjanesvirkjunar. Fornleifaskráning. Agnes Stefánsdóttir 2008:3
Vonarskarð og Hágöngur. Úttekt á fornleifum. Sólborg Una Pálsdóttir 2008:11
Þeistareykir Fornleifaskráning. Sigurður Bergsteinsson 2008:13

15 Sjá Viðauka 3.

16 Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur Ingi Haraldsson og Gísli Karel Halldórsson, 1985. *Mat á jarðvarma Íslands*. Orkustofnun, skýrsla OS-85076/JHD-10, 134 bls.

17 Jónas Ketilsson, Héðinn Björnsson, Sæunn Halldórsdóttir og Guðni Axelsson, 2009. *Mat á vinnslugetu háhitasvæða*. Orkustofnun, skýrsla OS-2009/09, 16 bls.

18 Guðmundur Pálmason, 2005. *Jarðhitabók – eðli og nýting auðlindar*. Reykjavík, Hið íslenska bókmenntafélag, 298 bls.

Varmagjafi háhitasvæða sem liggja á flekaskilum virðist yfirleitt vera kvika og/eða storknuð innskot sem enn eru að kólna. Yfir kvikuhólfum má búast við að jarðhitavökvinn sé súr og jafnvel gasríkur. Þessir efnapættir skapa vandamál við rekstur borhola og rýra gæði gufu. Varmagjafi lághitakerfa, a.m.k. þeirra sem djúpar holur hafa verið boraðar í, er heitt berg í rótum þessara kerfa.

Mörg forn háhitakerfi finnast í eldri berggrunni utan gosbeltanna. Þau hafa vafalítið orðið til á flekaskilum en þau hefur rekið frá þeim með tímanum vegna myndunar nýrrar jarðskorpu á þessum skilum. Um leið hafa þau slitnað frá kviku-varmagjafanum. Við þessa þróun breytast háhitakerfin í varmanámur og fara að kólna niður, mest eftir flæði grunnvatns gegnum þau en síðar einnig með varmaleiðingu. Meðan háhitakerfi liggja á flekaskilum flyst varmi yfir í þau frá kviku eða heitu storkubergi. Vinnsla sem felur í sér varmatöku úr þessum kerfum umfram náttúrulegt varmatap leiðir varla til aukins flæðis kviku inn í rætur þeirra því kvikan þarf að rísa gegnum deighvel í möttli og jarðskorpu. Kvika í deighveli hefur tilhneigingu til að rísa vegna þess að hún er eðlisléttari en berg deighvelsins og gerir það með því að ýta þessu bergi til hliðar um leið og hún rís.

Líta ber á einstök háhitasvæði sem varmanámur ef vinnsla er umfangsmikil. Lítið sem ekkert munar um endurnýjun varmans í þeim. Hins vegar breytir nýting engu um orkuforða kerfisins ef eingöngu sjálfrennsli úr laugum og hverum er nýtt og svo allt þar á milli eftir umfangi nýtingar. Þannig er endingartími einstakra svæða háður umfangi vinnslu.

Beinar upplýsingar skortir yfirleitt um stærð einstakra háhitakerfa og aðra vinnslueiginleika þeirra þegar áform um nýtingu verða að veruleika. Því er talið mjög mikilvægt að fylgja hefðbundnu verklagi við undirbúning að nýtingu til að hámarka árangur en lágmarka áhættu og kostnað. Það er gert með því að áfangaskipta undirbúningi og reisa fyrst tiltölulega smáa virkjun, sjá hvernig jarðhitakerfið bregst við vinnsluálaginu og stækka virkjunina eða byggja aðra nýja í því ljósi. Með þessu móti gæti það tekið einn til tvo áratugi að fullvirkja eitt háhitasvæði. Hið hefðbundna verklag felur í sér að afla gagna um eiginleika vinnslusvæða og byggja ákvarðanir á slíkum gögnum en ekki á óbeinum upplýsingum.

Nýting örvar írennsli á grunnvatni í jarðhitakerfin sem kemur í stað þess vökva sem tekinn er upp um borholur. Þetta írennsli er oft kalt grunnvatn en stundum sjór eða sjávarblandað grunnvatn. Írennsli á köldu vatni felur í sér varmanám úr heitu bergi kerfisins, varma sem safnast hefur upp í þessu bergi á æviskeiði hvers kerfis við uppstreymi jarðhitavökva frá varmagjafanum. Til þess að draga úr líkum á skammhaupi írennslisvatns inn í vinnsluholur er talið æskilegt að bora ekki vinnsluholur við jaðra háhitasvæða. Túlkun vöktunarmælinga á Wairakei háhitasvæðinu á Nýja Sjálandi, sem hefur verið í vinnslu frá árinu 1958, og hermireikningar benda til þess að nýtilegur varmi í jarðhitakerfinu til raforkuframleiðslu ($>180^{\circ}\text{C}$) verði nýttur að tveimur þriðju hlutum árið 2050 (Mannington o.fl., 2004¹⁹). Gufurennslu úr borholum minnkar yfirleitt með tíma. Því er æskilegt að afmarka óborað svæði við jaðra vinnslusvæða fyrir borun viðhaldshola.

¹⁹ Mannington, W.I., O'Sullivan, M.J.O., Bullivant, D.P. og Clotworthy, A.W., 2004. Í ráðstefnuriti *Twenty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, Kaliforníu, 26.-28. janúar, 2004, STP-TR-175.

Því fylgir áhætta að reisa stórar jarðgufuvirkjanir í einum áfanga. Af þeim sökum henta háhitakerfi ekki vel til raforkuframleiðslu eigi hún á að þjóna stórnotendum, a.m.k. ein og sér.

Nýting lághita á Íslandi hefur sýnt sig að vera mjög arðbær og hún hefur haft mikil áhrif á byggðaðþróun í landinu. Eins hefur nýting háhita reynst hagkvæm, bæði til raforkuframleiðslu og beina nýtingu varmans. Til þess að hámarka afrakstur af nýtingu háhita er lögð áhersla á að binda undirbúning að vinnslu við það verklag sem lýst er í 5. kafla álitsgerðarinnar sem fylgir þessari skýrslu. Að auki mætti benda á að vatnsaflsvirkjanir eiga auðveldara með að bregðast við álagssveiflum en jarðgufuvirkjanir.

Sjálfbær þróun

Sjálfbær þróun tekur til þriggja þátta, hins félagslega, hagkvæmni og auðlindarinnar sjálfrar. Ekki er vitað hversu lengi tiltekið jarðhitakerfi endist miðað við ákveðið vinnsluálag, jafnvel þótt það hafi verið í vinnslu í áratugi, hvað þá þegar ákvörðun er tekin um að virkja á nýju svæði. Eðlilegt er talið að líta á sjálfbæra þróun í heild sinni þegar um nýtingu jarðhitans er að ræða, þ.e. alla þrjá meginþætti sjálfbærrar þróunar, og þegar nýting háhita er annars vegar, að taka mið af legu háhitasvæða miðað við þéttbýli og leggja í senn áherslu á fjölnýtingu og hóflega nýtingu. Hin hóflega nýting ætti að styðjast við þá aðferðafræði sem lýst er í 5. kafla álitsgerðar Stefáns Arnórssonar²⁰.

Ákvarðanir um val á fyrirtækjum til virkjunar háhita geta haft áhrif á atvinnutækifæri sem tengjast nýtingu þessarar auðlindar. Virkjunarleyfi til raforkuframleiðslu eingöngu flytur möguleikana um fjölnýtingu jarðhitans til virkjunaraðila eða leiðir til þess að henni verður ekki sinnt. Hér þarf að huga að hinum félagslega þætti sjálfbærrar þróunar og eins að eignarhaldi á háhitalindinni. Sá sem nýtir hana hefur áhrif á hvernig arði er skipt. Þá skal nefnt að nýsköpunar er þörf til að styrkja sjálfbæra þróun á jarðhitaauðlindinni með því að auka möguleika á beinni nýtingu jarðvarma. Eins er þörf á grunnrannsóknnum til að auka þekkingu á jarðhitaauðlindinni sjálfri og jafnvel ýmsum efnum í jarðhitavatni og jarðgufu. Með uppskiptingu hinnar fyrri Orkustofnunar í nýja Orkustofnun og Íslenskar orkurannsóknir hefur að mestu tekið fyrir slíkar grunnrannsóknir.

Umhverfisáhrif

Stórar virkjanir á háhitasvæðum hafa allmikil umhverfisáhrif. Þau taka bæði til auðlindarinnar sjálfrar og hins ytra umhverfis. Meginbreytingin á jarðhitalindinni er þrýstifall sem gerir allt í senn að örva írennsli grunnvatns í kerfið og þurrka upp vatnshveri eða örva gufuhveravirkni. Auk þess er umtalsvert jarðrask óumflýjanlegt og af því og mannvirkjum leiðir sjón-, hávaða- og gufumengun. Áhrif á hið ytra umhverfi stafa mest af vatns- og loftbornum mengandi efnum sem geta haft neikvæð áhrif á gæði grunnvatns, gróður og lífverur og verið heilsuspillandi auk þess sem sum efni eru tærandi og valda þannig beinu fjárhagslegu tjóni. Ýmsar leiðir eru færar til að draga úr umhverfisáhrifum. Þær sem mestu máli skipta eru stefnuboranir og förgun skiljuvatns og gufu niður í jörðina um djúpar borholur, ýmist innan eða utan vinnslusvæða. Skáboranir draga úr jarðraski og sjónmengun en förgun vökva dregur úr efnamengun jarðvatns og lofts.

²⁰ Sjá Viðauka 3.

Nýting jarðhitalinda og friðun náttúrusvæða

Talið er eðlilegt að skipta háhitasvæðum í tvo flokka, verndunar- og nýtingarflokk, þ.e. annars vegar svæði sem vernda skal frá orkuvinnslu og hins vegar svæði sem taka skal til nýtingar orkulindarinnar. Ef gögn skortir til að ákveða hvorum flokknum eitthvert svæði skuli tilheyra, eða samstaða næst ekki um tvískiptingu, mætti setja slíkt háhitasvæði í biðflokk og taka ákvörðun síðar um flokkun að fengnu sérfræðiáliti, jafnvel að eftirláta það komandi kynslóðum að ákveða hvort svæði í biðflokki skuli vernduð eða tekin til orkuvinnslu.

Fjölnýting háhita er áhugaverðari en nýting til raforkuframleiðslu eingöngu vegna þess að hún nýtir auðlindina betur og er því í anda sjálfbærrar þróunar.

Talið er rétt að heimila nýtingu í smáum stíl á friðuðum háhitasvæðum eða að því marki að nýtingin þjóni friðuninni með því að stuðla að bættri umgengni ferðamanna um hin friðuðu svæði. Þó skyldu heimildir um nýtingu aðeins gefnar með ströngum fyrirvörum og ekki skapa hættu á því að nýtingin gæti leitt til þess að laugar eða vatnshverir gætu þornað upp fyrir áhrif nýtingarinnar.

Lagarammi

Framkvæmd laga um mat á umhverfisáhrifum er ekki sniðin að þörfum nýtingar jarðhita. Hún tekur ekki mið af þeirri óvissu sem ríkir um árangur af borunum þegar áformum um nýtingu er hrint í framkvæmd, svo og um stærð virkjunar og fyrirkomulag mannvirkja. Heimila þarf virkjunaraðilum nauðsynlegt svigrúm til að leita að álitlegustu vinnslusvæðum innan einstakra háhitasvæða. Um leið þyrfti að setja virkjunaraðilum hömlur um alla umgengni. Raforkulög gera þá kröfu til virkjunaraðila að hann sýni fram á aflgetu afmarkaðs vinnslusvæðis með prófunum á borholum og vinnslulíkanreikningum og þar með hver sé æskileg stærð virkjunar. Virkjunarleyfi byggir á slíkri niðurstöðu. Nálgun sem þessi tryggir best að ofnýting eigi sér ekki stað og um leið að nýtingin verði sem sjálfbærust og hafi sem minnst umhverfisáhrif. Mælt er með endurskoðun gildandi laga um mat á umhverfisáhrifum þannig að þau taki eðlilegt tillit til verklags við undirbúning virkjana á jarðhitasvæðum og rekstur orkuvera.

Í raforkulögunum frá 2003, kafla V, verður orðið hitaveita ekki skilið á annan hátt en þann að það nái yfir aðveitu- og dreifilagnir en ekki vinnslu heits vatns eða gufu til húshitunar, þ.e.a.s sjálfa auðlindina og borholur. Þessi skilgreining jafngildir því að vatnsból væru ekki talin hluti af vatnsveitum. Þessi skilgreining er ekki í samræmi við gildandi venjur. Fyrsta stig í undirbúningi allra hitaveitna er öflun jarðhitaréttinda og boranir. Evrópusambandið lítur svo á að kalt vatn (vatnsveitur) falli utan ramma samkeppni vegna þess að henni verður ekki við komið þegar um staðbundnar auðlindir er að ræða. Sama gildir um beina notkun jarðvarma.

Jarðhiti til beinnar nýtingar er verðmæt orkulind á Íslandi. Nauðsynlegt er talið að skoða samspil raforkulaga og auðlindalaga í þessu samhengi. Einnig þyrfti að skilgreina orðið hituveitu eins og það er almennt skilið, nefnilega að orkulindin sem nýtt er sé hluti af hitaveitunni sjálfri hvort sem orkulindin er í einkaeigu eða almannaeigu.

2.3.3 Sjálfbær þróun og nýting jarðhita

Í tilefni óska iðnaðarráðherra, að fram fari mat á sjálfbærri nýtingu jarðhita skipuðu Orkustofnun og verkefnisstjórn rammaáætlunar faghóp um sjálfbæra nýtingu jarðhita. Í hópnum voru þessir sérfræðingar: Albert L. Albertsson, verkfræðingur, tilnefndur af Hitaveitu Suðurnesja, Axel Björnsson, jarðeðlisfræðingur, tilnefndur af verkefnisstjórn rammaáætlunar, Árni Gunnarsson, verkfræðingur, tilnefndur af Landsvirkjun, Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, jarðfræðingur, tilnefnd af verkefnisstjórn rammaáætlunar, Grímur Björnsson, jarðeðlisfræðingur tilnefndur af Orkuveitu Reykjavíkur, Guðni Axelsson, jarðeðlisfræðingur, tilnefndur af Orkustofnun, Jónas Ketilsson, verkfræðingur, tilnefndur af Orkustofnun, skipaður formaður faghópsins, og Kristján Sæmundsson, jarðfræðingur, tilnefndur af verkefnisstjórn rammaáætlunar. Vegna anna sá Albert sér ekki fært að taka þátt í starfinu og sagði sig því úr faghópnum. Þá tók Bjarni Pálsson, verkfræðingur, við af Árna Gunnarssyni sem fulltrúi Landsvirkjunar í lok árs 2008. Faghópurinn skilaði álit²¹ í apríl 2011 og er það eitt af fylgiskjölum þessarar skýrslu. Samantekt faghópsins á helstu niðurstöðum fer hér á eftir:

Samantekt faghóps

Faghópur um sjálfbæra nýtingu jarðhita var skipaður af Orkustofnun og verkefnisstjórn rammaáætlunar þann 28. mars 2008. Samkvæmt skipunarbréfi átti faghópurinn að skilgreina og meta sjálfbæra jarðhitavinnslu og sjálfbæra jarðhitanytingu, gera tillögur um hvernig haga bæri nýtingu jarðhita til lengri tíma litið og semja drög að reglum er hafi það að markmiði að tryggja sjálfbæra jarðhitanytingu. Til þess var lagt mat á eðli og flokkun jarðhitakerfa, orkuforða þeirra, endurnýjanleika auðlindarinnar og vinnslureynslu síðustu áratuga á Íslandi. Þá skoðaði faghópurinn viðeigandi alþjóðasamninga sem Ísland á aðild að.

Orðið *sjálfbær* er almennt notað fyrir enska hugtakið *sustainable* og er það gert í þessari skýrslu. Faghópurinn er þó sammála um að orðið *haldbær* væri betri þýðing á orðinu *sustainable*. Orðasambandið *sjálfbær vinnsla* er notað í skýrslunni fyrir hugtakið *sustainable yield*. *Endurnýjanleiki* er notað fyrir enska hugtakið *renewability*, sem eiginleiki auðlindar. Hann byggir á varmastraumi inn í jarðhitageymi sem er þess eðlis að massi og varmi endurnýjast á hraða sem er af sömu stærðargráðu og nýtingarhraðinn.

Sjálfbær þróun miðar að því að fullnægja þörfum samtímans án þess að skerða möguleika komandi kynslóða til að fullnægja sínum þörfum. Gerður er greinarmunur á hugtökunum *sterkri* og *veikri sjálfbærni* sem taka til allra meginstoða sjálfbærrar þróunar, þ.e. samfélags, efnahags og umhverfis. Sterk sjálfbærni felur í sér að þróunin hafi ekki neikvæð áhrif á neinn þessara meginþátta. Veik sjálfbærni leyfir rýrnun einhvers meginþáttanna enda skili þróunin í heildina jákvæðum samfélagslegum ábata.

21 Jónas Ketilsson, Axel Björnsson, Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, Bjarni Pálsson, Grímur Björnsson, Guðni Axelsson og Kristján Sæmundsson, 2011. Eðli jarðhitans og sjálfbær nýting hans. Álitsgerð faghóps um sjálfbæra nýtingu jarðhita. Orkustofnun, skýrsla nr. : OS-2010/05, 138 bls.

Sjálfbær jarðhitanyting tekur til allra þriggja meginstoða sjálfbærrar þróunar, þ.e. samfélags, efnahags og umhverfis. Sterk sjálfbær jarðhitanyting krefst m.a. sjálfbærrar jarðhitavinnslu (*sustainable yield*) á sérhverju jarðhitasvæði sem felur í sér að með ákveðnu vinnslustigi sé hægt að viðhalda óbreyttri orkuvinnslu úr jarðhitakerfinu í að minnsta kosti 100 ár. Sjálfbæra vinnslugetan (E_0) er þó ekki þekkt við upphaf vinnslu. Hana má meta samhliða vinnslu út frá fyrirbyggjandi gögnum um innri gerð og eðli kerfanna auk gagna um viðbrögð þeirra við vinnslu. Slíkt mat verður áreiðanlegra eftir því sem vinnslusaga viðkomandi jarðhitakerfis lengist. Uppbygging vinnslu í hæfilegum þrepum getur oftast tryggt að ekki sé farið yfir sjálfbæru mörkin. Þó geta virkjunarskref farið yfir þau, m.a. vegna þess hve illa þekkt mörkin eru við upphaf nýtingar. Við slíkar aðstæður mætti á einstökum vinnslusvæðum leyfa lotubundna vinnslu þar sem tímabundið væri farið yfir sjálfbæru mörkin ef nýtingin skilar í heildina jákvæðum samfélagslegum ábata (veik sjálfbærni). Faghópurinn setur fram tillögu um 10 markmið sjálfbærrar jarðhitanytingar og eru þau sýnd hér í Töflu 2.3. Markmiðin eru sett fram á grundvelli Brundtland-skilgreiningarinnar fyrir sjálfbæra þróun og framkvæmdaáætlunar Ríó-yfirlýsingarinnar í samræmi við leiðbeiningar International Institute for Sustainable Development. Fyrstu tvö markmiðin fjalla um nýtingu auðlindarinnar og endurnýjanleika hennar. Þriðja markmiðið um umhverfisstjórnun, fjórða um nýtni, það fimmta um efnahagsstjórnun og það sjötta og sjöunda um arð og afhendingaröryggi. Áttunda markmiðið fjallar um samfélagsáhrif. Níunda markmiðið og það tíunda fjalla um rannsóknir, nýsköpun og miðlun þekkingar. Hafin er vinna við gerð matslykils sjálfbærrar jarðhitanytingar.

Jarðhitinn átti stóran þátt í að bæta lífsskilyrði íslensku þjóðarinnar á síðustu öld, en um leið hafði hann mótandi áhrif á félagslega þætti. Þróun séríslenskrar sundmenningar, myndun byggðakjarna á jarðhitasvæðum og vöxtur alþjóðlega viðurkennds þekkingarsamfélags eru allt þættir sem hafa haft félagsleg áhrif. Efnahagsáhrif nýtingar jarðhita á þjóðarbúið eru umtalsverð, hvort sem litið er til raforkuvinnslu, húshitunar eða annarrar nýtingar. Fram kemur í skýrslunni að árið 2009 nam sparnaðurinn 67 milljörðum króna, 77 milljörðum árið 2008. Uppsafnaður núvirtur sparnaður með 2% raunávöxtun nemur 1330 milljörðum frá árinu 1970 til loka árs 2009. Eru þetta um tvöföld útgjöld ríkissjóðs á árinu 2009.

Auk efnahagslegs ábata hefur hitaveituvæðingin skilað heilsufarslegum ávinningi, treyst öryggi og sjálfstæði landsins og veitt fjölbreytt tækifæri svo sem til fiskeldis, ylræktar, þurrkunar og snjóbræðslu. Af ofangreindu verður ekki annað séð en að áhrif jarðhitanytingar séu að mestu leyti mjög jákvæð með tilliti til félags-, efnahags- og umhverfispátta. Umhverfisáhrif jarðhitavinnslu geta þó einnig verið neikvæð þótt mótvægisaðgerðir bæti þar um. Á lághitasvæðum geta hverir og laugar horfið og á háhitasvæðum geta jarðvarmavirkjanir haft áhrif á útivist eins og öll mannvirki. Fjölnýting jarðhitans hefur þó leitt af sér vinsæla ferðamannastaði.

Faghópurinn gerir greinarmun á hugtökunum *varmastraumur* og *orkuforði*. Varmastraumur er hinn stöðugi straumur varmaorku úr iðrum jarðar til yfirborðs en orkuforði er varmaorka, bundin í bergi og heitu vatni. Frumorkunotkun jarðhita á Íslandi árið 2009 svaraði til 5 GW_{th} varmastraums. Með frekari uppbyggingu jarðvarmavirkjana næstu áratugi, í

samræmi við rammaáætlun, gæti frumorkunotkun orðið talsvert meiri og svarað til 40 GW_{th} varmastraums. Nægilegar upplýsingar um auðlindina eru forsenda skynsamlegrar auðlindastjórnunar. Ef tryggja á sjálfbæra jarðhitavinnslu telur faghópurinn það skyldu ríkisins að tryggja að auðlindastýring sé markviss og skynsamleg, úthlutun leyfa sé á jafnréttisgrundvelli og að hagsmunir heildarinnar ráði langtíma stefnumörkun á þessu sviði. Upplýsingar um auðlindina fást með rannsóknum, og kröfunni um virka auðlindastýringu ríkisins fylgir að ríkið gangist fyrir nægilegum rannsóknum til að auðlindastýringin verði fagleg og markviss. Með því er líklegra að yfirvöld hafi þá yfirsýn sem þarf til þess að tryggja langtímahagsmuni Íslendinga í orkumálum.

Faghópurinn telur að markmið sjálfbærrar jarðhitánýtingar og hugtakið sjálfbær jarðhitavinnsla megi innleiða í íslenska löggjöf í samræmi við skilgreiningu faghópsins eftir faglega aðkomu sérfræðinga. Faghópurinn, sem eingöngu er skipaður sérfræðingum á sviði raunvísinda og verkfræði, fjallaði eðli málsins samkvæmt mest um jarðhitaauðlindina og nýtingu hennar. Mat á áhrifum jarðhitánýtingar verður hins vegar að taka til þriggja meginstoða sjálfbærrar þróunar og af þeim sökum tók faghópurinn saman nokkur mikilvæg atriði vegna hverrar stoðar fyrir sig. Ekki ber að líta á þá samantekt sem heildstætt mat á áhrifum jarðhitánýtingar enda krefst slíkt aðkomu allra viðeigandi fagsviða.

Tillaga að markmiðum sjálfbærrar jarðhitánýtingar.

Orðskýringar hugtaka má finna í viðauka I í áliti faghóps um sjálfbæra nýtingu jarðhita²². Markmiðin eru sett fram með sterka sjálfbærni að leiðarljósi, sem felur í sér að nýtingin hafi ekki neikvæð áhrif á neina af meginstoðum sjálfbærrar þróunar, þ.e. samfélags, efnahags eða umhverfis. Veik sjálfbærni leyfir rýrnun einhverra meginstoðanna, t.d. með lotubundinni vinnslu, enda skili nýtingin í heildina jákvæðum samfélagslegum ábata.

Auðlindastjórnun

- (1) Jarðhitaauðlindina skal nýta á sjálfbæran hátt, þannig að framboð tryggjar orku til húshitunar, raforkuvinnslu og annarra nota þjóðfélagsins sé nægilegt fyrir félagslega og hagræna þróun viðkomandi samfélags og í heild án þess að skaða umhverfið. Fyrirsérhvert jarðhitasvæði, og sérhverja vinnsluáðferð, er til ákveðið hámarksvinnslustig, E_0 , sem er þannig hátt að með lægra vinnslustigi en E_0 er unnt að viðhalda óbreyttri orkuvinnslu úr kerfinu í að minnsta kosti 100 ár. Sé vinnsluálag umfram E_0 er ekki unnt að viðhalda óbreyttri orkuvinnslu svo lengi. Jarðvarmavinnsla minni en, eða jöfn, E_0 er skilgreind sem sjálfbær, en vinnsla umfram E_0 telst ekki sjálfbær. Huga skal að niðurdælingu jarðhitavökvans aftur í jarðhitageyminn til að styðja við langtímanýtingu, einkum í jarðhitakerfum með takmarkað innstreymi.
- (2) Grunnvatnsnotkun virkjunar skal ekki rýra almenna neysluvatnstöku nálægra byggðalaga.

²² Jónas Ketilsson, Axel Björnsson, Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, Bjarni Pálsson, Grímur Björnsson, Guðni Axelsson og Kristján Sæmundsson, 2011. *Eðli jarðhitans og sjálfbær nýting hans. Álitsgerð faghóps um sjálfbæra nýtingu jarðhita*. Orkustofnun, skýrsla nr. : OS-2010/05, 138 bls.

Umhverfisstjórnun

- (3) Jarðhitaauðlind skal nýtt á þann hátt að sem minnst umhverfisáhrif fylgi samkvæmt gildandi lögum hverju sinni. Ætíð skal nota þá tækni og hönnun sem dregið getur úr umhverfisáhrifum. Fylgja skal áætlunum um umhverfisstjórnun á öllum stigum framkvæmda og rekstrar.

Nýtni

- (4) Leitast skal við að haga jarðhitanýtingu þannig að nýting tiltækrar iðorku (*exergy*) sé sem best. Æskilega hámarksnýtni til raforkuvinnslu skal miða við fræðilega hámarksnýtni við umbreytingu varma í raforku (Carnot-nýtni). Á hönnunarstigi nýrra áfanga jarðvarmavirkjana skal þessu markmiði fylgt, t.d. með tækniþróun, niðurdælingu og með fjölnýtingu jarðhitavökvans.

Hagstjórnun

- (5) Orkuvinnsla frá jarðvarmavirkjunum og hitaveitum skal vera samkeppnishæf við aðra orkugjafa og arðbær. Lágmarka ber fjárhagslega áhættu jarðvarmavirkjana og hitaveitna og skulu þær vera þjóðhagslega og samfélagslega hagkvæmar. Taka skal tillit til kostnaðar og ábata vegna breytinga á umhverfisverðmætum við útreikning á þjóðhagslegri og samfélagslegri hagkvæmni

Arður og öryggi

- (6) Hámarka skal afrakstur af auðlindinni með verðmætasköpun og hagkvæmni að leiðarljósi. Almennigur skal njóta hæsta forgangs að orkunni á hóflegu verði og/eða njóta ávinnings af henni í formi auðlindaafgjalds.
- (7) Rekstur jarðvarmavirkjana og hitaveitna skal vera áreiðanlegur og miðast við orkuafendingaröryggi.

Samfélagsábyrgð

- (8) Orkufyrirtæki skulu sýna samfélagsábyrgð og nýting jarðhitaauðlindarinnar skal hafa í heildina jákvæð samfélagsleg áhrif.

Rannsóknir og nýsköpun

- (9) Orkufyrirtæki og hið opinbera skulu stuðla að rannsóknum sem efla þekkingu á jarðhitaauðlindinni og tækniþróun sem bætir nýtingu, eykur hagkvæmni og dregur úr umhverfisáhrifum, annað hvort með beinum aðgerðum eða í samvinnu við háskóla og aðra rannsóknar- eða þróunaraðila. Þá skal jafnframt stuðla að tækniframförum sem hækka sjálfbæra vinnslustigið.

Miðlun þekkingar

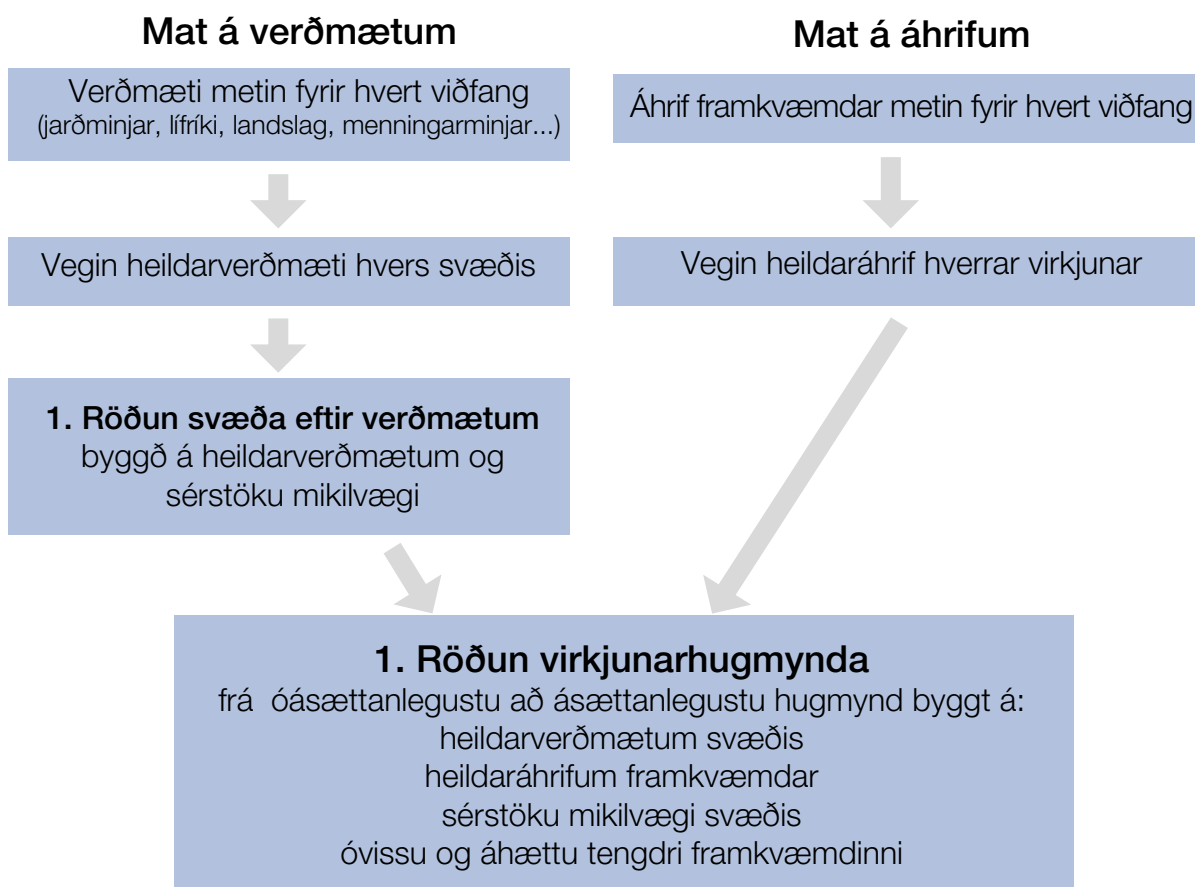
- (10) Þekking á jarðhitaauðlindinni og reynsla sem aflast við nýtingu hennar skal vera aðgengileg og gagnsæ jafnt almenningi sem fræðasamfélögum.

3 Aðferðafræði og niðurstöður faghóps I

3.1 Verkefni og skipan faghópsins

Verkefni faghóps I var þrískipt: (1) að meta náttúru og menningarminjar á svæðum sem til greina koma vegna orkunýtingar og raða þeim eftir heildarverðmætum, (2) að meta áhrif orkunýtingar og (3) að raða virkjunarhugmyndum frá lakasta til besta kosts út frá hagsmunum náttúru og menningarminja (Mynd 3.1). Í 1. áfanga rammaáætlunar var markmiðið eingöngu að raða virkjunarhugmyndum en nú stendur til að nota niðurstöðurnar bæði til að taka frá verðmæt svæði sem verða friðlýst gagnvart orkuvinnslu og til að flokka virkjunarhugmyndir sem þátt í langtímastefnumótun um orkunýtingu.

Hér skilar því faghópur I tvennum megin niðurstöðum: **1. Röðun svæða eftir verðmætum í náttúru og menningarminjum** en sú röðun verður notuð með samsvarandi niðurstöðum faghóps II sem forsendur fyrir friðlýsingu gagnvart orkunýtingu. **2. Röðun virkjunarhugmynda** en faghópur I valdi að snúa röðinni þannig að efst raðast þær hugmyndir sem teljast lakastar m.t.t. áhrifa á náttúru- og menningarminjar og neðst þær sem teljast ásættanlegastar. Á Mynd 3.1 er áfangaskipting vinnunnar sýnd.



Mynd 3.1 Matsferli faghóps I, áfangaskipting vinnunnar og afurðir sem notaðar verða til að meta hvaða svæði verða friðlýst gagnvart orkunýtingu (1) og röðun virkjunarhugmynda út frá hagsmunum náttúru og menningarminja (2).

Þegar starf faghópa hófst undir árslok 2008 var faghópur I skipaður sex einstaklingum: dr. Freysteini Sigmundssyni jarðeðlisfræðingi hjá Jarðvísindastofnun Háskólans, dr. Hilmar J. Malmquist vatnalíffræðingi og forstöðumanni Náttúrufræðistofu Kópavogs, Kristni Hauki Skarphéðinssyni dýravistfræðingi hjá Náttúrufræðistofnun Íslands, dr. Magnúsi Ólafssyni jarðefnafræðingi hjá Íslenskum orkurannsóknum, Sólborgu Unu Pálsdóttur fornleifafræðingi hjá Fornleifavernd ríkisins og Þóru Ellen Þórhallsdóttir grasafræðingi og prófessor við Líf- og umhverfisvísindadeild Háskóla Íslands sem var formaður hópsins. Það var mat hópsins að æskilegt væri að fleiri kæmu að einkunnagjöf og röðun svæða. Í lok október 2009 var því bætt við öðrum sex sérfræðingum: Auði Sveinsdóttur landslagsarkitekt við Landbúnaðarháskóla Íslands, Gísli M. Gíslasyni skordýrafræðingi og prófessor við Líf- og umhverfisvísindadeild Háskóla Íslands, dr. Hauki Jóhannessyni jarðfræðingi hjá Íslenskum orkurannsóknum, Ólafi Arnalds jarðvegsfræðingi og prófessor við Landbúnaðarháskóla Íslands, Ragnheiði Traustadóttur fornleifafræðingi hjá Háskólanum á Hólum og dr. Snorra Baldurssyni líffræðingi hjá Náttúrufræðistofnun Íslands.

3.2 Aðferðafræði

Hér á eftir er gerð stutt grein fyrir aðferðafræði faghóps I. Fyrir ítarlegri umfjöllun um aðferðafræði og nálgun og um niðurstöður faghóps I í fyrsta áfanga er bent á greinar Þóru Ellenar Þórhallsdóttur²³. Faghópurinn notaði í öllum aðalatriðum sömu aðferðafræði og þróuð hafði verið af faghópi I í fyrsta áfanga rammaáætlunar²⁴. Faghópurinn lagði áherslu á að matið væri byggt á vísindalegum grunni, það væri hlutlægt og að einkunnagjöf væri byggð á skýrum og ótvíræðum viðmiðum, að matið væri heildstætt og sjálft sér samkvæmt í mati á einstökum þáttum, og að ferlið væri gegnsætt og útkoman rekjanleg. Þessar forsendur fela í sér að matskerfið er bæði sundurliðað þannig að það skiptist í ákveðna þætti og stigskipt þannig að matsferlið skiptist í nokkra áfanga (Mynd 3.1).

3.2.1 Afmörkun svæða

Vatnasvið má nota sem almenna landfræðilega afmörkun sem spannar vatnafræðilega samfellu og vistfræðileg tengsl vítt og breitt um vatnasviðið. Vatnasvið er auk þess vel skilgreint hugtak. Í norsku rammaáætluninni (*Samlet Plan for Vassdrag*), sem líklega er eina sambærilega vinnan við íslensku rammaáætlunina, eru vinnueiningarnar heil vatnasvið, ekki einstakar virkjunarhugmyndir eins og í þeirri íslensku.

Svæði sem til greina koma vegna vatnsaflsvirkjana voru afmörkuð þannig að miðað var við vatnasvið ofan fyrirhugaðra stíflumannvirkja en þar fyrir neðan var aðeins tekinn meginfarvegurinn og næsta nágrenni hans (100-500 m út frá miðlínu eftir aðstæðum, sjá Kort 3.1).

Þetta gildi fyrir öll viðföng nema fiska en náttúruverðmæti þeirra og áhrif á þá voru

²³ Þórhallsdóttir, T.E., 2007a. *Strategic planning at the national level: evaluating and ranking energy projects by environmental impact*. Environmental Impact Assessment Review, 27, 545-68.

Þórhallsdóttir, T.E., 2007b. *Environment and energy in Iceland: A comparative analysis of values and impacts*. Environmental Impact Assessment Review, 27, 522-44.

²⁴ Rammaáætlun, 2003a. *Niðurstöður 1. áfanga rammaáætlunar*. Verkefnisstjórn um gerð rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Iðnaðarráðuneytið, nóvember 2003, 75 bls. + viðaukar.

einnig metin í fiskgengum þverám neðan stíflumannvirkja. Menningarminjar voru teknar með ef hluti minjaheildar var innan 100 m beltis frá meginfarvegi. Við ósa sumra stórfljóta eru flæðiengjar, frjósöm og lífrík votlendisvistkerfi sem eru órjúfanlega tengd vatni, framburði og flóðum í vatnsfallinu og geta raskast við framkvæmdir sem breyta rennslismynstri og framburði. Slík votlendisvistkerfi voru tekin með í verðmæta- og áhrifamati og var þá miðað við útbreiðslu gulstarar (*Carex lyngbyeii*) sem er einkennistegund flæðiengja. Þar sem sjónræn áhrif náðu út fyrir vatnasvið réðu þau hvernig afmörkun var dregin fyrir víðerni og landslag en ekki fyrir aðra þætti.

Afmörkun jarðhitasvæða byggði á tvennu (Kort 3.1). Matsvæðið var dregið eftir útbreiðslu háhita samkvæmt viðnámsmælingum, en stundum 1-2 km út fyrir það eftir landslagi. Þar sem vissa eða miklar líkur voru fyrir því að áhrif vinnslu næðu út fyrir viðnámsvæði eða landslagsheild var allt áhrifasvæðið tekið með í verðmæta- og áhrifamati. Þetta skipti fyrst og fremst máli fyrir Kröflu/Bjarnarflag, þar sem svæðið var látið ná til Ytri-Flóa Mývatns, en afrennsli og grunnvatnsstraumar frá viðkomandi háhitasvæðum nær til Mývatns. Á stærstu háhitasvæðunum var afmörkun svæða miðuð við landslagsheildir, enda lá ekki fyrir skýr staðsetning virkjanahugmynda á þeim svæðum, hvað þá staðsetning mannvirkja. Þannig var Torfajökulssvæðið skilgreint sem eitt svæði og sömuleiðis Kerlingarfjöll. Mörk allra svæða voru dregin inn á stafræn kort og sameinuð í Korti 3.1.

Landfræðilega má greina áhrif orkuvinnslu niður í nokkur belti. Í fyrsta lagi er sjálft virkjunarsvæðið þar sem eru mannvirki (byggingar, stíflur, borpallar, miðlunarlón, affallslón, skurðir, pípur, uppbyggðir vegir og námur). Virkjunarsvæðið getur verið mjög misstórt. Á þessu svæði má búast við að virkjun getið valdið verulegum og óafturkræfum breytingum á náttúru og menningarminjum.

Í öðru lagi geta framkvæmdir og rask vegna virkjunar valdið breytingum á miklu víðáttumeira svæði. Breytinga á grunnvatnsstöðu getur gætt á víðáttumiklu landi og rask getur brotið vistgerðir upp í aðskilda búta og haft áhrif á stofna lífvera og starfsemi vistkerfa. Sjónrænna áhrifa framkvæmda getur gætt í mikilli fjarlægð, t.d. á miðhálendi Íslands, þar sem er víðsýnt og mannvirki falla oft illa að náttúrulegum formum og mynstri í landi og illmögulegt að fela þau.

Í þriðja lagi eru fjaráhrif orkunýtingar. Þau eru einnig mismikil, e.t.v. óveruleg við sumar virkjanir en mikil og afdrifarík við aðrar. Flutningur stóráa milli vatnasviða hefur mikil áhrif í farvegum beggja áa, stundum alveg frá efstu drögum og út í sjó og á bæði vatnafar og lífríki. Grunnvatnsstaða getur hækkað eða lækkað á láglendum svæðum og leitt til breytinga á gróðurfari, og strandrof getur aukist vegna minni framburðar. Þá leiða vatnaflutningar milli vatnasviða til þess að samfella straumavatna rofnar sem getur haft mikil áhrif á lífríki. Síðast en ekki síst getur áhrifa gætt á grunnsævi með afleiðingum fyrir lífríki sjávar, m.a. á nýliðun helstu nytjafiskistofna. Faghópurinn gat ekki metið síðasttöldu áhrifin nema sem áhættu og óvissu tengda framkvæmdinni (sjá nánar í 3.4.2).

3.2.2 Viðföng eða matsþættir

Faghópurinn skipti verðmætum í fimm flokka og kallaði þá viðföng (Tafla 3.1).

Verðmæti í náttúru skiptust í fjögur viðföng sem sum voru aðgreind frekar í undirviðföng (sýnd í sviga): **Jarðminjar og vatnafar** (berggrunnur, jarðgrunnur, vatnagrunnur (grunnvatn, þ.m.t. jarðhiti), fallvötn og stöðuvötn), **Lífverur** (háplöntur, fuglar, fiskar, smádýr í vatni og hitakærar örverur), **Vistkerfi og jarðvegur** (vistgerðir og jarðvegur) og **Landslag og víðerni** (landslag, víðerni).

Menningarminjar voru fimmta viðfangið með þrjú undirviðföng (fornleifar, saga og þjóðtrú).

Aftast í þessum kafla er ítarleg skilgreining á viðföngum og öðrum hugtökum sem matið byggði á, útlistun á forsendum verðmætamats og mats á áhrifum og stutt samantekt á þeim gagnagrunnum og heimildum sem stuðst var við. Prentaðar heimildir sem vitnað er til í texta eru birtar neðanmáls á viðeigandi síðu og í heild í 10. kafla. Listi yfir heimildir sem faghópurinn hafði aðgang að við matsvinnu sína verður birtur með ítarlegri gögnum á vef rammaáætlunar.

Tafla 3.1 Viðföng og undirviðföng náttúru og menningarminja með dæmi um fyrirbæri í hverju viðfangi eða undirviðfangi.

Viðföng	Undirviðföng	Dæmi og athugasemdir
Jarðminjar og vatnafar	berggrunnur	eldfjöll, gígar, hraun
	jarðgrunnur	laus jarðlög: sandar, jökulruðningur, háhitaleir
	vatnagrunnur	grunnvatn, lindir, jarðhiti
	fallvötn, stöðuvötn	vatn á yfirborði: ár, lækir, vötn, tjarnir
Lífverur	plöntur	háplöntur, ónógar upplýsingar um aðra hópa
	fuglar	varpfuglar og eftir atvikum far- og vetrargestir
	fiskar	lax, urriði, bleikja, hornsíli, áll og flundra
	smádýr í vatni	hryggleysingjar
	hitakærar örverur	
Vistkerfi og jarðvegur	vistgerðir og jarðvegur	
Landslag og víðerni	landslag	
	víðerni	miðað við skilgreiningu í náttúruverndarlögum
Menningarminjar	fornleifar, saga og þjóðtrú	miðað við skilgreiningu í þjóðminjalögum

3.2.3 Viðmið

Verðmæti viðfanganna var vegið og metið út frá sex eftirtöldum viðmiðum: 1) Auðgi/fjölbreytni, 2) Fágæti, 3) Stærð/samfella/heild, 4) Alþjóðleg ábyrgð, 5) Upplýsingagildi og 6) Sjónrænt gildi. Viðmiðin voru skilgreind þannig að þau næðu í sameiningu að lýsa verðmætum allra viðfanga en sum þeirra eru samsett. Hér fer á eftir stutt lýsing á þeim eiginleikum sem lagðir voru til grundvallar:

1. Almennt gildir að það sem er **auðugt eða fjölbreytt** telst verðmætara en það sem er rýrt eða fábreytt. Svæði telst t.d. verðmætt ef þar finnast margar ólíkar gerðir eldfjalla eða gosminja.
2. **Fágætar** náttúru- og menningarminjar hafa líka sérstakt gildi. Sem dæmi má nefna einlenda ætt og tegund krabbadýrs (*Crymostygius thingvallensis*) sem aðeins hefur fundist í tveimur vatnakerfum á Íslandi en hvergi annars staðar í heiminum.
3. Verðmæti náttúru og menningaminja eru líka metin hærra ef þær eru **viðáttumiklar/stórar eða samfelldar eða mynda sérstaka heild**. Þetta samsetta viðmið var misjafnt eftir viðföngum. Það gat t.d. átt við ef svæði hýsir sérstaklega stóra fuglastofna. Samfella og heild gat t.d. átt við minjaheildir svo sem býli með túngarði, híbýlum og útihúsum. Slíkar heildir hafa mun meira gildi en stakar minjar sem varðveist hafa sem einangruð fyrirbæri.
4. **Alþjóðleg ábyrgð** vísar til fyrirbæra sem viðurkennt er að Íslendingar bera sérstaka ábyrgð á. Þetta á fyrst og fremst við um fugla sem falla undir ýmsa alþjóðlega sáttmála (t.d. Bernarsamninginn) og votlendissvæði sem hafa alþjóðlegt gildi (Ramsar samningurinn), en í nokkrum tilfellum um gróðurlendi (einkum flár með sífrerarústum og melöldur) sem falla undir lista Evrópuráðsins um gróðurlendi sem á að vernda (sjá 4. gr. Bernarsamningsins og ályktun nr. 4).
5. Undir **upplýsingagildi** fellur þekkingargildi, vísindalegt gildi, fræðslugildi og dæmigildi (*typological value*). Munurinn á vísindalegu gildi og fræðslugildi liggur einkum í því að vísindalegt gildi er óháð landfræðilegri legu en fræðslugildi hækkar ef fyrirbærið er nálægt skóla eða þéttbýli. Hér undir fellur líka táknrænt gildi. Það á fyrst og fremst við um menningarminjar en einnig sum náttúrufyrirbæri.
6. **Sjónrænt gildi** var aðeins metið fyrir landslag og vísar til litauðgi, mynstra, forma, lína og áferðar í landi.

Oftast voru notuð fjögur eða fimm viðmið til að lýsa hverju viðfangi (Tafla 3.2). Vægi viðmiða fyrir hvert viðfang var kvarðað þannig að heildareinkunnin var óháð því hversu mörg viðmið voru notuð. Fyrir víðerni voru t.d. aðeins notuð tvö viðmið: stærð (flatarmál) og fágætisgildi. Verðmæti víðerna ræðst fyrst og fremst af því hversu víðáttumikil þau eru og það viðmið ræður 80% af einkunninni. Önnur sérstaða þeirra (t.d. óvenjulegt landslag) vegur 20%.

Tafla 3.2 Viðmið og vogtölur viðmiða og viðfanga.

Viðföng	% vægi í lokaeinkunn	Undirviðföng	Vægi undir- viðfanga	Auði, fjölbreyni	Fágæti	Stærð, sam- fella, heild	Alþjóðleg ábyrgð	Upplýsinga- gildi	Sjónrænt gildi
Jarðminjar og vatnafar	25 / 20	berggrunnur	25	0,25	0,25	0,3		0,2	
		jarðgrunnur	25	0,25	0,25	0,3		0,2	
		vatnagrunnur	25	0,25	0,25	0,3		0,2	
		fallvötn, stöðuvötn	25	0,25	0,25	0,3		0,2	
Lífverur	20	plöntur	25	0,3	0,3	0,2			
		fuglar	25	0,3	0,3	0,2	0,2		
		fiskar	20	0,3	0,3	0,2			
		smádyr í vatni	10	0,3	0,3	0,2			
		hitakærar örverur	20	0,3	0,3	0,2			
Vistkerfi og jarðvegur	20	vistgerðir og jarðvegur		0,3	0,2	0,3	0,1	0,1	
Landslag og víðerni	25 / 20	landslag	66,6	0,3	0,2	0,2			0,3
		víðerni	33,3		0,2	0,8			
Menningarminjar	10 / 20	fornleifar, saga og þjóðtrú		0,1	0,3	0,3		0,3	

3.2.4 Vogtölur

Í fjölþátta greiningu (*multi-criteria analysis*) er algengt að sumir þættir séu látnir vega þyngra en aðrir. Í 1. áfanga voru ræddar ólíkar forsendur fyrir vogtölum, m.a. i) siðfræðilegar (einkum að líf hefur gildi sem ólífræn náttúra hefur ekki), ii) að vistkerfi veita þjónustu sem nauðsynleg er öllu lífi, iii) að mat byggt á góðri þekkingu og almennt viðurkenndu vísindalegu mati mætti vega meira en mat byggt á lélegum gögnum og þar sem almennt viðurkennd aðferðafræði er ekki fyrir hendi, iv) að verðmæti sem ætla má að séu mjög viðkvæm fyrir röskun mætti meta hærra og v) að fyrirbæri sem hafa gildi á heimsvísu mætti meta hærra en þau sem ekki hafa slíkt gildi.

Vogtölur voru ákveðnar í sameiningu af faghópi I og með hliðsjón af ofangreindum sjónarmiðum, með þrepagreiningu (*Analytical Hierarchy Process (AHP)²⁵*) í 1. áfanga rammaáætlunar. Þá vógu jarðminjar og vatnafar 25% af heildareinkunn, landslag og víðerni 25%, tegundir lífvera 20%, vistgerðir og jarðvegur 20% og menningarminjar 10%. Borið saman við hliðstæða vinnu erlendis var jarðminjum og vatnafari gert hátt undir höfði en lífríki lágt (bæði lífverum, vistkerfum og jarðvegi). Endurúrvinnsla á niðurstöðum fyrsta áfanga leiddi í ljós að það hefði nánast engu máli skipt þótt vogtölurnar hefðu verið jafnar (þ.e. hvert viðfang hefði vegið 20%). Vogtölur viðfanga voru talsvert ræddar innan hópsins núna og varð niðurstaðan sú að reikna út verðmætaeinkunnir fyrir jafnt vægi viðfanga og vogtölur eins og þær voru ákveðnar í fyrsta áfanga (Tafla 3.2) en reikna jafnframt út röðun án vogtalna en þá vegur hvert hinna fimm viðfanga 20%.

Vogtölur voru einnig settar á sum undirviðföng innan viðfanga. Innan lífvera vógu

²⁵ Saaty, T.L., 1977. *A scaling method for priorities in hierarchical structures*. Journal of Mathematical Psychology, 15, 234-81.

háplöntur 25%, fuglar 25%, fiskar 20%, smádýr í vatni 10% og hitakærar örverur 20%. Plöntur eru frumframleiðendur og undirstaða nær allra vistkerfa jarðar og af öllum hópum lífvera eru gögn um háplöntur einna best. Fuglar eru mjög mikilvægir í náttúru Íslands og sá hópur íslenskra dýra sem hefur mest verðmæti á heimsvísu. Faghópurinn taldi því að þessir þættir ættu að fá hátt vægi. Tveir hópar lífvera sem bundnir eru við vatn voru líka metnir sérstaklega (fiskar og smádýr). Þessir hópar skipta sérstöku máli hér vegna þess að vinna rammaáætlunar beinist sérstaklega að fallvötnum en meirihluti faghópsmanna taldi að þessir hópar ættu að fá aðeins lægra vægi (fiskar) og talsvert lægra vægi (smádýr) miðað við lykilhópa plantna og fugla. Landslag var látið vega tvöfalt á við víðerni en undirviðföng innan jarðminja og vatnafars höfðu jafnt vægi.

3.3 Verðmætamat og röðun svæða eftir verðmætum

3.3.1 Vinnuferli fyrir mat á verðmætum

Við mat á verðmætum var notaður ólínulegur kvarði: 1 (óveruleg verðmæti), 4 (dálítill verðmæti), 8 (talsverð verðmæti), 13 (mikil verðmæti) og 20 (mjög mikil verðmæti).

Í upphaflega faghópnum sátu sex sérfræðingar: jarðfræðingur með sérsvið í eldfjallafræði og annar með sérsvið í jarðhita, dýravistfræðingur með sérsvið í fuglafræði, líffræðingur með sérsvið í fiskum og vatnavistfræði, grasafræðingur og fornleifafræðingur. Í október 2009 bættust aðrir sex við: jarðfræðingur, jarðvegsfræðingur, vatnalíffræðingur með sérsvið í skor-dýrum, vistfræðingur, fornleifafræðingur og landslagsarkitekt. Hver sérfræðingur frá upphaflega faghópnum undirbjó rökstudda tillögu að einkunn fyrir sitt sérsvið (Tafla 3.3). Sú tillaga var rædd í hópi sérfræðinga á því sviði en síðan kynnt fyrir faghópnum í heild. Í kynningunni var farið yfir þau gögn sem til grundvallar lágu og tillaga að einkunn rædd.

Í kjölfarið fylgdi leynileg einkunnagjöf. Sendir voru út töflureiknar (Excel) með fyrirliggjandi tillögum til allra 12 meðlima faghópsins en hver um sig fór yfir tillögurnar og rökstuðning með þeim og gaf eigin einkunn fyrir öll viðmið og viðföng á öllum svæðum. Þessi aðferð var notuð fyrir öll viðföng nema landslag og víðerni og hitakærar örverur. Verðmætaeinkunn fyrir landslag og víðerni var gefin af hópnum á sameiginlegum fundi og var m.a. stuðst við fjölmargar ljósmyndir af svæðunum. Enginn í hópnum var sérfróður um örveruflóru jarðhitasvæða. Sólveig Pétursdóttir, örverufræðingur á Matís, var hópnum innan handar og var einkunn fyrir örverur gefin á grundvelli rannsókna sem hún stýrði fyrir rammaáætlun og mati hennar á þeim svæðum sem þær rannsóknir náðu ekki til. Verðmætaeinkunn var síðan reiknuð út frá meðaltalseinkunnum hópsins og heildareinkunn eftir þeim aðferðum sem áður var lýst.

I MAT Á VERÐMÆTUM SVÆÐA

1. Sérfræðingur tekur saman gögn fyrir sitt svið og kynnir rökstuddar tillögur að verðmætaeinkunn á fundi. Umræður um tillögur.
2. Allir gefa einkunn fyrir verðmæti í öllum viðföngum nema landslagi & víðerni og senda í tölvupósti til ritara sem tekur saman og reiknar meðaltal og kannar dreifni einkunna.
3. Faghópur fer yfir verðmæti landslags og víðerna og gefur einkunn sameiginlega.
4. Ritari sendir meðaleinkunnir svæða til faghópsins sem athugar hvort dreifni gefur tilefni til að ræða einstakar einkunnir eða fara aðra umferð í einkunnagjöf.
5. Faghópur raðar sameiginlega svæðum eftir verðmætum og sérstöku mikilvægi með AHP greiningu.

II MAT Á ÁHRIFUM VIRKJANA

6. Sérfræðingur tekur saman gögn fyrir sitt svið og kynnir rökstuddar tillögur að áhrifaeinkunn á fundi. Umræður um tillögur.
7. Allir gefa einkunn fyrir áhrif í öllum viðföngum nema landslagi & víðerni og senda í tölvupósti til ritara sem tekur saman og reiknar meðaltal áhrifaeinkunna og kannar dreifni.
8. Faghópurinn fer yfir áhrif á landslag og víðerni í sameiningu og gefur einkunn.
9. Ritari sendir meðaleinkunnir til faghópsins sem athugar hvort dreifni gefur tilefni til að ræða einstakar einkunnir eða fara aðra umferð í einkunnagjöf. Faghópurinn fer yfir áhrifaeinkunnir og dreifni og fer aðra umferð ef þarf.

III RÖÐUN VIRKJUNARHUGMYNDA

10. Lokaröðun virkjunarkosta sem faghópurinn vinnur sameiginlega með AHP greiningu, og byggir á einkunn fyrir verðmæti, einkunn fyrir áhrif, sérstöku mikilvægi svæðis og óvissu/áhættu.

Tafla 3.3 Skýringarmynd af vinnuferli faghóps I. Vinna faghópsins skiptist í þrjú stig: 1) mat og röðun svæða eftir verðmætum í náttúru og menningarminjum, 2) mat á áhrifum orkunýtingar á náttúru og menningarminjar, 3) röðun virkjunarhugmynda frá óásættanlegustu til ásættanlegustu hugmyndar út frá hagsmunum náttúru og menningarminja.

3.3.2 Sérstakt mikilvægi

Meðaleinkunn hvers svæðis var byggð á 47 einkunnum (sbr. Töflu 3.2). Hver einstök einkunn vegur því lítið þar eð hlutur hennar í lokaeinkunninni takmarkast fyrst af vogtölu viðmiðsins og síðan af vogtölu viðfangsins. Samsetta matið endurspeglar því heildarverðmæti. Þau svæði sem fá hæstu einkunn hafa mikil verðmæti í öllum viðföngum (m.a. lífverum, jarðminjum, menningarminjum, vistkerfum og landslagi). Hið samsetta mat er gagnlegt til að leggja mat á heildarverðmæti svæða og heildaráhrif framkvæmda. Á hinn bóginn geta einstök fyrirbæri aldrei vegið þungt í slíku mati þar sem vogtala viðkomandi viðmiðs/viðfangs og fjöldi matseininga (47 alls fyrir verðmæti og sama fyrir áhrifamat) þýðir að einstakt fyrirbæri getur aldrei ráðið nema litlu um heildareinkunn.

Sum svæði eða fyrirbæri kunna samt sem áður að vera einstök eða hafa verulega sérstöðu vegna eins fyrirbæris. Slík sérstaða eða **sérstakt mikilvægi** var haft til hliðsjónar á lokastigi

matsins þegar virkjunarhugmyndum var raðað með þrepagreiningu (AHP). Svæði eða fyrirbæri kann að vera einstakt eða hafa viðurkennt gildi á heimsvísu, njóta friðlýsingar eða sérstakrar verndar samkvæmt lögum eða vera á annan hátt valið úr sem sérstaklega verðmætt af hendi stjórnvalda. Faghópurinn hafði hliðsjón af slíku sérstöku mikilvægi þegar svæðum var endanlega raðað eftir verðmætum. Þar var útbúinn gátlisti þar sem skráð var fyrir hvert svæði meðalverðmætæinkunn og svo sérstök verðmæti (Tafla 3.4). Til sérstakra verðmæta töldust m.a. friðlýst svæði (þjóðgarðar, friðlönd, náttúruvætti), válistategundir, friðlýstar tegundir lífvera, friðlýstar fornleifar, svæði á náttúruminjaskrá, svæði og fyrirbæri á lista Umhverfisstofnunar fyrir Náttúruverndaráætlun 2004-8 og 2009-13 og svæði eða fyrirbæri sem njóta alþjóðlegrar viðurkenningar eða verndar.

Samkvæmt ofansögðu lagði faghópur I ekki mat á það sjálfur hvað taldist sérstaklega mikilvægt heldur eingöngu það sem byggðist á almennt viðurkenndu og/eða opinberu mati. Hér standa verðmæti í lífríki mun betur en t.d. verðmæti í jarðminjum. Í líffræði hafa verið þróuð almenn verndarviðmið og skilgreiningar sem viðtekin eru og notuð á sama hátt í vísindasamfélaginu en ekkert sambærilegt kerfi virðist vera til innan jarðfræði.

3.3.3 Röðun svæða eftir verðmætum

Við lokaröðun svæða eftir verðmætum var beitt þrepagreiningu (*Analytical Hierarchy Process*, AHP^{1,4}) þar sem tveir og tveir kostir voru vegnir saman í einu með tilliti til heildarverðmæta og sérstaks mikilvægis. Þrepagreiningin var unnin á sameiginlegum fundi faghópsins. Að auki tók faghópurinn saman sérstakar athugasemdir til verkefnisstjórnar varðandi verðmæti og verndargildi einstakra svæða. **Með röðun svæða eftir verðmætum var lokið fyrsta áfanganum í vinnu faghópsins** (sbr. Mynd 3.1).

Faghópurinn vill líka vekja athygli á því að röðun svæða og virkjunarhugmynda er fyrst og fremst byggð á mati á landsvísu en **sérstaða háhitasvæða á heimsvísu er ekki tekin með í mati faghópsins.**

3.4 Mat á áhrifum og röðun virkjunarhugmynda

3.4.1 Vinnuferli fyrir mat á áhrifum

Við mat á áhrifum var stuðst við markmið löggjafans með verndun náttúruverðmæta eins og þau birtast í 1. gr. náttúruverndarlaga (44/1999): „að tryggja eftir föngum þróun íslenskrar náttúru eftir eigin lögmálum, en verndun þess sem þar er sérstætt eða sögulegt“. Mat á áhrifum byggðist þannig á því hvað þau teldust mikið inngríp í „þróun íslenskrar náttúru eftir eigin lögmálum“ og verndun þess sem þar er sérstætt eða sögulegt. Á sama hátt var miðað við markmiðsgrein Þjóðminjalaga (1. gr.) en þar segir að lögin skuli „stuðla að verndun menningarsögulegra minja og tryggja að íslenskum menningararfi verði skilað óspilltum til komandi kynslóða“ og „tryggja

eftir föngum varðveislu menningarsögulegra minja í eigin umhverfi“. Mat á áhrifum tók mið af því hvort framkvæmdir væru líklegar til að hafa áhrif á verndun og varðveislu minja í eigin umhverfi og á það hvort íslenskum menningararfi verði skilað óspilltum til komandi kynslóða.

Mat á áhrifum var unnið á sambærilegan hátt og mat á verðmætum (Mynd 3.1). Sömu töflureiknar voru notaðar og hliðstæður einkunnakvarði fyrir utan það að nú var hægt að gefa einkunnina 0 (engin áhrif) til viðbótar við 1 (lítil áhrif), 4 (nokkur áhrif), 8 (talsverð áhrif), 13 (mikil áhrif) og 20 (mjög mikil áhrif). Áhrifaeinkunnin átti að endurspegla stærðargráðu áhrifa á landsvísi en ekki hlutfallslega skerðingu verðmæta á hverju svæði. Farið var yfir allar einkunnir fyrir hvert viðmið til að reyna að tryggja samræmi milli virkjunarhugmynda. Sérfræðingar undirbjuggu aftur rökstudda tillögu að einkunn, hún var kynnt og rædd á fundum faghópsins en einkunnagjöf var leynileg (Tafla 3.3). Einkunn fyrir áhrif á landslag og víðerni var ákveðin sameiginlega líkt og gert var fyrir verðmæti þessa viðfangs og áhrif á hitakærar örverur voru fengin eftir sérfræðiráðgjöf Sólveigar Pétursdóttur. Heildareinkunn fyrir áhrif var reiknuð út eins og áður var lýst fyrir verðmæti.

3.4.2 Óvissa og áhætta

Reynsla af áhrifum viðtækra raskana á náttúru hefur sýnt að sjaldnast er hægt að spá fyrir um afleiðingar þeirra með nokkurri vissu, jafnvel að undangengnum ítarlegum rannsóknum. Einkum á þetta við um áhrif á lífríki. Lífverur bregðast við áreiti og röskun getur því haft margvísleg áhrif á atferli dýra. Þá getur röskun framkallað óbein og keðjuverkandi áhrif sem geta borist upp fæðukeðjuna, til aðliggjandi eða fjarlæggra staða, eða komið fram seinna. Spár um áhrif stórra framkvæmda eruð því ævinlega háðar óvissu, bæði eigindlegri (*qualitative*, þ.e. óvissu um hvort tiltekin áhrif muni koma fram eða ekki) og megindlegri óvissu (*quantitative*, þ.e. hversu viðtæk eða stór áhrifin verða).

Fyrir margar virkjunarhugmyndir hafði faghópur I lítil eða jafnvel óveruleg gögn um áhrif framkvæmdanna og hafði ekki tök á að meta ýmsa þætti sem geta haft gífurleg áhrif þegar um er að ræða stórar framkvæmdir. Fyrir vatnsaflsvirkjanir átti þetta t.d. við um áhrif vatnaflutninga milli vatnasviða, breytingar á rennsli og breytingar á vorflóðum og framburði á votlendi á láglendi. Lífríkar flæðiengjar myndast oft við fljót nálægt ósum og slík votlendi eru oft ákaflega verðmæt líffræðilega. Uppblásturshætta og fokhætta getur skapast við miðlunarlón þar sem breytileg vatnsstaða ýmist kaffærir aðliggjandi lágar strendur eða skilur eftir breið belti með óvörðum jarðvegi og seti sem getur fokið þegar það hefur þornað og valdið jarðvegsþykknun, breytingu á gróðurfari og jafnvel keðjuverkandi uppblæstri á aðliggjandi grónu landi. Þá var einnig litið til hugsanlegrar rykmengunar frá hugsanlegum lónstæðum eftir því sem við var komið. Einn þáttur sem hugsanlega er gríðarlega mikilvægur, en faghópurinn hafði ekki tök á að meta, eru áhrif miðlunar jökuláa á lífríki og vatnafar á grunnslóð og áhrif á nýliðun og vaxtarskilyrði helstu stofna nytjafiska á Íslandsmiðum.

Mörg óvissuatriði eru sömuleiðis tengd mati á áhrifum jarðvarmavirkjana. Í jarðhitavökvanum geta verið ýmis efni sem eru eitruð fyrir lífverur og geta borist víða ef affallsvatn frá virkjuninni blandast t.d. grunnvatni. Nýleg dæmi sýna að loftmengun getur haft áhrif á gróður í nágrenni

virðjunarinnar. Þessi áhrif hafa þó ekki komið fram við allar virkjanir og erfitt er að spá fyrirfram um í hvaða mæli slíkrar mengunar gæti gætt. Ofantalin áhrif var ekki hægt að meta sérstaklega fyrir einstakar virkjunarhugmyndir og voru þær því metnar sem sérstök óvissa fyrir jarðvarmavirkjanir í heild.

Þótt mikil óvissa væri um áhrifin var samt oftast hægt að leggja mat á hvort tiltekin virkjunarhugmynd væri líkleg eða ólíkleg til að hafa í för með sér tiltekna óvissu eða áhættu. Faghópurinn reyndi að meta óvissu og áhættu með mjög grófum hætti á þriggja stiga kerfi: óveruleg/lítill, nokkur, og mikil eða mjög mikil.

Við frumhönnun virkjunar á að fara að lögum um náttúruvernd og velja þær leiðir í framkvæmdum sem halda jarðraski í lágmarki. Hugmyndir um mótvægisáðgerðir eru reifaðar en sjaldnast útfærðar nánar á þessu stigi. Þær hugmyndir sem farið hafa gegnum mat á umhverfisáhrifum framkvæmda eru mun nánar útfærðar en hugmyndir á stigi frumhönnunar og því ætti af gögnum að vera ljóst til hvaða mótvægisáðgerða er ráðgert að grípa. Þær njóta þessa jafnframt í mati ef ekki eru uppi álitamál um hvort áðgerðirnar nái þeim markmiðum sem þeim eru sett. Í þeim virkjunarhugmyndum sem metnar voru í 2. áfanga var nokkrum sinnum minnst á mótvægisáðgerðir. Tvær hugmyndir hafa áhrif á stóra og mjög verðmæta fiskistofna. Sérfræðingar töldu þær mótvægisáðgerðir sem kynntar voru vera í fyrsta lagi mjög óljósar og erfitt að meta þær af þeim sökum og í öðru lagi töldu þeir mikinn vafa leika á að slíkar áðgerðir myndu heppnast eins og væntingar framkvæmda aðila stóðu til. Aðeins í einni virkjunarhugmynd sem faghópur I fjallaði um í 2. áfanga voru kynntar hugmyndir um algengustu mótvægisáðgerðir, t.d. að græða upp land í stað þess sem tapast.

3.4.3 Lokaröðun virkjunarhugmynda

Endanleg röðun virkjunarhugmynda byggðist á þrepagreiningu (*AHP, Analytical Hierarchy Process*²⁶). Þar voru tvær og tvær hugmyndir bornar saman og stuðst við gátlista þar sem fjögur atriði voru tiltekin fyrir hverja virkjunarhugmynd: 1) heildareinkunn fyrir verðmæti, 2) heildareinkunn fyrir áhrif, 3) mat á óvissu eða áhættu sem faghópurinn taldi að fylgdi framkvæmdinni (þarna undir voru t.d. áhrif vatnaflutninga á strandsvæði og lífríki á grunnslóð) og 4) sérstakt mikilvægi (eins og áður var lýst). Lokaröðun var unnin sameiginlega af faghópnum (Mynd 3.1 og Tafla 3.3).

Þrepagreining er margprófuð og viðurkennd aðferð til að forgangsraða valkostum þar sem vagnir eru saman margir eiginleikar, og fellur því vel að markmiðum vinnunnar í faghópi I. Það eru þrjár ástæður fyrir því að faghópur I telur það ekki góðan kost að raða virkjunarhugmyndum eingöngu eftir áhrifum. Í fyrsta lagi er mat á verðmætum traustara og byggt á miklu meiri gögnum en mat á áhrifum, en oftast hafa engar sérstakar rannsóknir farið fram á umhverfisáhrifum framkvæmdanna. Í öðru lagi eru lýsingar á útfærslu virkjananna mjög misítarlegar og óljósar

²⁶ Saaty, T.L., 1977. *A scaling method for priorities in hierarchical structures*. Journal of Mathematical Psychology, 15, 234-81.

Thórhallsdóttir, T.E., 2007a. *Strategic planning at the national level: evaluating and ranking energy projects by environmental impact*. Environmental Impact Assessment Review, 27, 545-68.

fyrir sumar hugmyndir sem aftur eykur óvissu við mat á áhrifum. Í þriðja lagi má færa þau rök að svæði sem eru mjög verðmæt ættu af þeim ástæðum einum að raðast neðar sem valkostur við orkunýtingu, þ.e. vegna þess að þar er meira í húfi.

Þá telur faghópurinn rétt að líta til þeirrar óvissu og áhættu sem framkvæmdinni er samfara. Að lokum er svo höfð hliðsjón af sérstöku mikilvægi svæða eins og áður var lýst. Það eru þó takmörk fyrir því hversu þungt hið sérstaka mikilvægi má vega.

Tafla 3.4 Gátlisti fyrir röðun svæða eftir verðmætum
sjá skýringar aftast

SVÆÐI	VERÐ- MÆTI	SÉRSTAKT MIKILVÆGI
Jökulsá á Fjöllum	15,2	Þjóðgarður: Vatnajökulspjóðgarður, þ.m.t. Jökulsárgljúfur og Askja. Friðlönd: Herðubreiðarfriðland, Hvannalindir. Náttúruminjar: votlendi við Öxarfjörð, Jökulsárgljúfur austan ár, Kverkfjöll og Krepputunga, Fagridalur og Grágæsadalur. Tegundir á valista: margar fuglategundir á valista, mikið fálkavarp. Mikilvægar tegundir: mikið varp heiðagæsa í hálendi og grágæsa í Öxarfirði. Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga UST um friðland: Öxarfjörður, fjölbreytt votlendi, fágætar plöntur, fuglar. Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga UST um stækkun þjóðgarðs: bætt við ræmu austan Jökulsár. Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga UST um friðlýsingu Kverkfjalla, Krepputungu & Laugavalladals sem friðlands. Stórbrotið landslag, fjölbreyttar jarðminjar, jarðhiti. Annað: tvær einlendar tegundir krabbadyra (hellamarflær) báðar nýjar tegundir og önnur ný ætt, fundnar í Jökulsárgljúfrum (<i>Crymostygus thingvallensis</i> annar af 2 fundarstöðum) og Herðubreiðarlindum (<i>Crangonyx islandicus</i>). Friðlýstar minjar: útilegumannaminjar í Hvannalindum.
Torfajökuls- svæði	14,0	Friðland: Friðland að fjallabaki. Tegundir á valista: laugadepla YH. Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga UST um friðlýsingu Heklu sem þjóðgarðs. Fyrirhuguð eystri mörk þjóðgarðsins fylgja vesturmörkum Friðlands að fjallabaki.
Austari og Vestari Jökulsá og hálendið norðan Hofsjökuls	13,8	Friðland: votlendi við Miklavatn í Skagafirði. Náttúruminjar: Orravatnsrústir, botn Vesturdals/Hofsárdals. Tegund á valista: margar fuglategundir. Tegund á valista: hreistursteinbrjótur NH. Mikilvægar tegundir: mikið varp heiðagæsa og grágæsa. Búsvæði á lista Evrópuráðsins: rústamýrar. Votlendi við Héraðsvötn er á lista yfir <i>Important Bird Areas in Europe</i>, og á yfirliti yfir helstu votlendi á Norðurlöndum. Náttúruverndaráætlun 2009-13: Orravatnsrústir verði friðland, sérstæðasta freðmýri landsins. Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga UST um friðland: Orravatnsrústir, sífrerarústir og gróður. Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga UST um búsvæðavernd: Fagrahlíð í Austurdal: kjarraleifar, fléttur. Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga UST um friðland: Austara-Eylendið, víðfeðmustu flæðiengi á landinu og á Norðurlöndum. Friðlýstar minjar: Einirlækjarrústir, Hrafnstaðir, Hringanes, Hraunþúfuklaustur, Tunga, Kolgrímastaðir, Sandgil, Selsvellir, Öxl (Össurar-lögrétta, Hegranes-þingstaður).
Skaftá	13,1	Þjóðgarður: Vatnajökulspjóðgarður. Náttúruminjar: Eldgjá, Grenlækur, Steinsmýrarflóð. Votlendi með Skaftá, Grenlækur og Eldvatn eru á lista yfir <i>Important Bird Areas in Europe</i>, og á yfirliti yfir helstu votlendi á Norðurlöndum. Náttúruverndaráætlun 2009-13: Breiskjuhraunavist verði friðlýst, hún er ekki þekkt utan svæðisins eða utan Íslands, felur í sér friðlýsingu svæða í Skaftártungum og á Síðuafretti, tillaga að svæðin verði hluti af Vatnajökulspjóðgarði. Náttúruverndaráætlun 2009-13: Langisjór & nágrenni verði hluti af Vatnajökulspjóðgarði, jarðfræðisvæði. Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga UST um að votlendi við Grenlæk og Eldvatn verði friðlýst sem búsvæði. Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga UST um friðlýsingu Skaftáreldahrauns sem náttúruvættis (þjóðgarðs). Friðlýstar minjar á efra svæði: Leiðólfsfell, Erlendsstaðir, Hróðnýjarmýri og Granagil. [Vorið 2011 var ákveðið að friða Skaftá ofan Lambaskarðshóla, austasta hluta Eldgjár, Grænaflagallgarð, Langasjó og Fögrufjöll, auk breiskjuhraunavistar sunnan Lakagíga sem hluta af Vatnajökulspjóðgarði]
Þjórsá ofan Sultartanga	12,6	Friðland: Þjórsárver. Alþjóðlegar friðlýsingar: Ramsar svæði. Mikilvægar tegundir: heiðagæs í Þjórsárverum, til skamms tíma stærsta varp í heimi. Búsvæði á lista Evrópuráðsins: rústamýrar, votlendi. Svæðið er á lista yfir <i>Important Bird Areas in Europe</i>, og á yfirliti yfir helstu votlendi á Norðurlöndum. Náttúruverndaráætlun 2009-13: stækkun friðlands suður fyrir Eyvafen þannig að það nái yfir hið sérstæða votlendi veranna Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga UST um stækkun friðlandsins suður að Búðarhálsi, m.a. vegna Kjálkaversfoss, Dynks og Gljúfurleita-foss sem fossaraðar í stórfenglegu landslagi. Friðlýstar minjar: Eyvindarkofi við Eyvindarver. Minjar: gæsaréttir – þær einu sem þekktar eru hér á landi.

SVÆÐI	VERÐ- MÆTI	SÉRSTAKT MIKILVÆGI
Markarfljót	10,4	Friðland: Friðland að fjallabaki er í jaðri svæðisins. Alþjóðlegt mikilvægi: stórt grágæsavarp við ósa og mikilvægur náttstaður gæsa. Náttúruminjar: Þórsmörk. Náttúruverndaráætlun 2004-8: Tillaga um friðlýsingu Þórsmörkur, mörk við Markarfljót, fjölbreytt landslag, eldvirkni, skógur. Friðlýstar minjar: bústaður við Einhyrning og Kápa í Almenningi (sunnan Markarfljóts).
Vonarskarð	10,1	Þjóðgarður: Vatnajökulsþjóðgarður.
Hvítá í Árnessýslu- Jökulkvísl	9,8	Friðland: Gullfoss. Náttúruminjar: Hvítárvatn & Hvítárnes, Austurbakki Hvítárgljúfurs, Pollengi & Tunguey, Höfðaflatar. Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga UST um friðlýsingu Hvítárvatns-Hvítárness-Karlsdráttar sem friðlands. Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga UST um friðlýsingu Brúarár – Skálholtstunga - Höfðaflata sem búsvæðis. Skálholtstunga og Höfðaflatar lítt röskuð votlendi við Hvítá. Friðlýstar minjar: Þórarinsstaðir, Laugahvammur, Búðarárbakki, Tjarnar-rústin.
Hengill	9,0	Náttúruminjar: Hengilssvæðið. Tegundir á valista: laugadepla YH, flóajurt YH. Friðlýstar minjar: Þorlákshafnarsel, Hellurnar ásamt Hellukofanum.
Skjálfandaflljót	9,0	Náttúruminjar: Laufrönd og Neðribotnar, Ingvararfoss, Aldeyjarfoss, Hrafnabjargafoss, Goðafoss, Þingey, votlendi á Sandi og Sílalæk í Aðaldal, Gæsavötn við Gæsaþjón, Tungnafellsjökull og Nýidalur. Tegund á valista: margar fuglategundir á valista, m.a. snæugla BH, mikið fálkavarp, fálki YH. Friðlýstar minjar: Þingey, Skuldapíngey, Hrauntunga, Hofgarður og nafnlaust býli við Fiskiá.
Kerlingarfjöll	8,9	Náttúruminjar: Kerlingarfjöll.
Grændalur	8,6	Náttúruminjar: Hengilssvæðið. Tegundir á valista: laugadepla YH, flóajurt YH.
Hólmsá	8,1	Tegund á valista: helsingir (80 pör) – 2/3 hlutar íslenska stofnsins H. Friðlýstar minjar: við Hestatorfu (Hrífunes), á Langaröfi (Hrífunes) og Þingstaður við Leiðvelli.
Djúpa – Vestri-Hvítá	7,9	Náttúruminjar: Núpsstaður, Núpsstaðarskógur og Grænalón. Friðlýstar minjar: Lundur og Rofhóll.
Námafjall- Bjarnafell	7,7	Friðlýst svæði skv. sérstökum lögum: Lög um verndun Mývatns og Laxár í Suður - Þingeyjarsýslu. Alþjóðlegar friðlýsingar: Ramsar svæði.
Tungnaá ofan Sigöldu	6,9	Friðland: Friðland að fjallabaki. Náttúruminjar: Veiðivötn, mörk svæðis eru við Tungnaá að suðaustan og vestan. Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga um friðlýsingu Veiðivatna sem friðlands. Mörk verði við Tungnaá að suðaustan og vestan.
Krýsuvíkurs- væði	6,8	Fólkvangur, friðlýst útivistarsvæði: Reykjanesfólkvangur. Náttúruminjar: Keilir, Höskuldarvellir og Eldborg við Trölladyngju. Tegundir á valista: tunguskollakambur H sem einnig er friðlýst tegund , laugadepla YH. Friðlýstar minjar: Kaldrani (Gestsstaðir við jaðar svæðisins).
Fremrinámar	6,7	
Krafla - Leirhnúkur	6,7	í jaðri friðlýsts svæðis (Lög um verndun Mývatns og Laxár í Suður-Þingeyjarsýslu 97/2004).

SVÆÐI	VERÐ- MÆTI	SÉRSTAKT MIKILVÆGI
Peistareykir	6,2	Náttúruminjar: Peistareykir og að auki Vítin á Reykjaheiði/Peistareykjabungu. Friðlýst tegund og tegund á válista: klettburkní NH.
Brennisteins- fjöll	6,0	Fólkvangur, friðlýst útivistarsvæði: Reykjanesfólkvangur. Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga UST um náttúruvætti/friðland: Brennisteinsfjöll-Herdísarvík: ósnortnar gosminjar, kjarr við Herdísarvík.
Gjástykki	5,0	friðlýsing í undirbúningi (fréttasafn umr 09.03.2010)
Þjórsá í byggð	5,0	Friðlýstar minjar: forn garður í landi Urriðafoss; dómhringur í Árnesi; þingbúðatóftir í landi Hofis; forn garðlög við Núp; forn rúst og garðlög í Ölmóðsey.
Reykjanes	4,8	Náttúruminjar: Eldvörp, Reykjanes og Hafnarberg. Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga UST um friðland: Reykjanes, Eldvörp, Hafnarberg: stórbrotin jarðfræði, hverasvæði, setmyndanir, fuglabjarg. Tegundir á válista: flóajurt YH. Mikilvægar tegundir: eitt stærsta krúvarp landsins. Friðað hús: vitinn á Vatnsfelli.
Hvalá-Ófeigsf- jarðarheiði	4,8	
Hagavatn	3,6	
Eldvörp	3,4	Náttúruminjar: Eldvörp, Reykjanes og Hafnarberg (norðurjaðri svæðis). Náttúruverndaráætlun 2004-8: tillaga um friðland: Reykjanes, Eldvörp, Hafnarberg. Friðlýstar minjar: útilegumannaminjar.
Köldukvíslar- botnar	3,1	eru í jaðri Vatnajökulsþjóðgarðs.
Blanda	2,9	
Kaldakvísl - þóristungur	2,2	

Skýringar:

Tillögur UST: vísar til tillagna Umhverfisstofnunar í Náttúruverndaráætlun 2004-2008 - Aðferðafræði. Tillögur Umhverfisstofnunar um friðlýsingar. Umhverfisstofnun, Reykjavík, 291 bls.

BH tegund á válista í flokknum í bráðri hættu (CR = critical á ensku) skv. flokkun IUCN, sjá Válista Náttúrufræðistofnar Íslands fyrir plöntur frá 1996 (og endurskoðun 2008, <http://www.ni.is/grodur/valisti/>) og fyrir fugla frá 2000.

H tegund á válista í flokknum í hættu (EN = endangered á ensku) skv. flokkun IUCN, sjá Válista Náttúrufræðistofnunar Íslands.

YH tegund á válista í flokknum í yfirvofandi hættu (VU = vulnerable á ensku) skv. flokkun IUCN, sjá Válista Náttúrufræðistofnunar Íslands.

NH tegunda á válista í flokknum í nokkurri hættu (LR = low risk á ensku) skv. flokkun IUCN, sjá Válista Náttúrufræðistofnar Íslands.

Í hornklofa: Breytingar á stöðu svæða m.t.t. verndunar eftir að mati faghópsins lauk snemma árs 2010.

Náttúruminjar eru samkvæmt Náttúruminjasráð, 7. útgáfa 1996.

3.5 Niðurstöður

3.5.1 Röðun svæða eftir heildarverðmætum

Tafla 3.5 Vinstra megin: Röð svæða eftir heildarverðmætum í náttúru og menningarminjum. Dálkurinn V1 sýnir heildareinkunn með vogtölum (jarðminjar-vatnafar 25%, landslag-víðerni 25%, lífverur 20%, vistkerfi-jarðvegur 20% og menningarminjar 10%, sjá texta) en V2 heildar-mat þegar öll viðföng vega jafnt (20%). Hægra megin: Lokaröðun með þrepagreiningu þar sem verðmæti og sérstakt mikilvægi voru lögð til grundvallar. Við þrepagreininguna hliðruðust nokkur svæði um 1-2 sæti en þau sem fóru upp eða niður um 3 eða fleiri sæti eru merkt.

Röð og svæði		V1	V2	Staðar-númer	Röð, svæði og AHP raðeinkunn			Staðar-númer	Breyting ≥3 sæti
1	Jökulsá á Fjöllum	15,2	14,2	12-13	1	Jökulsá á Fjöllum	182,5	12-13	
2	Torfajökulssvæði	14,0	12,9	84-90	2	Torfajökulssvæði	182,5	84-90	
3	A & V Jökulsá, hálendi norðan Hofsjökuls	13,8	14,5	6-8	3	A & V Jökulsá, hálendi norðan Hofsjökuls	92,8	6-8	
4	Skaftá	13,1	12,7	18, 40	4	Þjórsá ofan Sultartanga	88,0	27	
5	Þjórsá ofan Sultartanga	12,6	12,3	27	5	Skaftá	80,5	18, 40	
6	Markarfljót	10,4	9,6	22-23	6	Vonarskarð	55,7	92	
7	Vonarskarð	10,1	9,3	92	7	Markarfljót	54,1	22-23	
8	Hvítá í Árn.-Jökulfall	9,8	9,8	32-38	8	Kerlingarfjöll	48,0	79-82	↑3
9	Hengill	9,0	9,2	69-75	9	Hvítá í Árn.- Jökulfall	42,7	32-38	
10	Skjálfandaflljót	9,0	9,4	9-11	10	Skjálfandaflljót	30,1	9-11	
11	Kerlingarfjöll	8,9	8,5	79-82	11	Hengill	17,9	69-75	
12	Grændalur	8,6	8,3	77	12	Hólmsá	16,0	19-21	
13	Hólmsá	8,1	7,8	19-21	13	Djúpá – Vestri-Hvítá	14,8	14	
14	Djúpá – Vestri-Hvítá	7,9	7,7	14	14	Tungnaá ofan Sigöldu	14,6	24-25	
15	Námafjall - Bjarnarflag	7,7	8,1	97	15	Námafjall - Bjarnarflag	12,0	97	
16	Tungnaá ofan Sigöldu	6,9	6,1	24-25	16	Grændalur	11,7	77	↓4

Röð og svæði		V1	V2	Staðar- númer		Röð, svæði og AHP raðeinkunn		Staðar- númer	Breyting ≥3 sæti
17	Krýsuvíkursvæði	6,8	7,2	64-67		17	Fremrinámar	10,0	96
18	Fremrinámar	6,7	6,5	96		18	Krafla - Leirhnúkur	7,6	98-99, 103
19	Krafla-Leirhnúkur	6,7	6,9	98-99, 103		19	Krýsuvíkursvæði	6,9	64-67
20	Þeistareykir	6,2	6,3	101-102		20	Þjórsá í byggð	5,5	29-31
21	Brennisteinsfjöll	6,0	6,2	68		21	Brennisteinsfjöll	5,4	68
22	Gjástykki	5,0	4,5	100		22	Þeistareykir	3,9	101-102
23	Þjórsá í byggð	5,0	5,8	29-31		23	Gjástykki	3,9	100
24	Reykjanes	4,8	5,2	61-62		24	Hvalá – Ófeigsfj.heiði	3,5	4
25	Hvalá - Ófeigsfj.heiði	4,8	4,8	4		25	Reykjanes	3,2	61-62
26	Hagavatn	3,6	3,3	39		26	Hagavatn	2,0	39
27	Eldvörp	3,4	4,1	63		27	Eldvörp	1,6	63
28	Köldukvíslarbotnar	3,1	2,8	91,104		28	Köldukvíslarbotnar	1,2	91, 104
29	Blanda	2,9	3,2	5		29	Blanda	0,7	5
30	Kaldakvísl - Þóristungur	2,2	2,1	28		30	Kaldakvísl - Þóristungur	0,7	28

Vinstra megin í Töflu 3.5 má sjá áhrif vogtalna á röð svæða eftir verðmætum. Við það að afnema vogtölur og láta öll viðföng vega jafnt, breytist vægi menningarminja mest. Það hækkar um 10% en vægi jarðminja-vatnafars og landslags-viðerna lækkar um 5% á móti (hvort um sig). Það breytir í flestum tilfellum litlu fyrir verðmætaröð svæða að afnema vogtölurnar. Aðeins tvö svæði færast til um meira en tvö sæti í töflunni. Það eru Tungnaá austan Veiðivatna og að Friðlandi að fjallabaki sem lenda 5 sætum neðar í jöfnu vægi viðfanga og Gjástykki sem er 3 sætum lægra í jöfnu vægi viðfanga. Sömu fimm svæðin lenda efst í báðum röðunum en innbyrðis staða þeirra hnikast aðeins til. Með vogtölum er röð fimm efstu svæða eins og sýnt er í Töflu 3.5: Jökulsá á Fjöllum, Torfajökulssvæðið, Jökulsárnar í Skagafirði/hálendið norðan Hofsjökuls, Skaftá, Þjórsá ofan Sultartanga. Án vogtalna raðast efstu fimm svæðin svona: Jökulsárnar í Skagafirði/hálendið norðan Hofsjökuls, Jökulsá á Fjöllum, Torfajökulssvæðið, Skaftá, Þjórsá ofan Sultartanga.

3.5.2 Röð svæða eftir verðmætum fyrir einstök viðföng

Tafla 3.6 Röð svæða eftir verðmætum í menningarminjum, aðskilin fyrir vatnasvið og háhitasvæði. Tölurnar sýna heildarverðmætæinkunn.

VATNASVIÐ	verðmæti	HÁHITASVÆÐI	verðmæti
Jökulsárnar í Skagafirði	19,3	Krýsuvíkursvæði	10,0
Skjálfafljót	13,0	Hengill	9,8
Þjórsá í byggð	11,5	Eldvörp - Svartsengi	9,1
Skaftá – Langisjór - Tungnaá	11,1	Brennisteinsfjöll	9,0
Hvítá í Árnessýslu - Jökulfall	11,0	Krafla - Leirhnúkur	9,0
Skaftá - Tungufljót	11,0	Fremrinámar	9,0
Jökulsá á Fjöllum	9,6	Þeistareykir	9,0
Þjórsá ofan Sultartanga	9,4	Reykjanes - Stóra-Sandvík	8,0
Hólmsá	8,3	Torfajökull	8,0
Djúpá – Vestri-Hvítá	7,9	Námafjall-Bjarnarflag	6,4
Markarfljót	7,6	Grændalur	4,0
Hvalá - Ófeigsfjörður	6,9	Vonarskarð	1,9
Blanda	4,7	Kerlingarfjöll	1,0
Tungnaá ofan Sigöldu	3,0	Hágöngur	1,0
Hagavatn	2,8	Gjástykki	1,0
Kaldakvísl - Þóristungur	1,9		
Köldukvíslarbotnar-Hágöngur	1,0		

Tafla 3.7 Röð svæða eftir verðmætum í jarðminjum og vatnafari, aðskilin fyrir vatnasvið og háhitasvæði. Tölurnar sýna heildarverðmætæinkunn.

VATNASVIÐ	verðmæti	HÁHITASVÆÐI	verðmæti
Jökulsá á Fjöllum	18,4	Torfajökull	17,7
Skaftá – Langisjór - Tungnaá	12,6	Vonarskarð	12,0
Jökulsárnar í Skagafirði	12,3	Kerlingarfjöll	11,2
Skaftá - Tungufljót	11,7	Fremrinámar	9,1
Markarfljót	11,3	Námafjall - Bjarnarflag	8,8
Þjórsá ofan Sultartanga	9,4	Grændalur	8,6
Hvítá í Árnessýslu - Jökulfall	9,3	Hengill	8,6
Djúpá – Vestri-Hvítá	9,1	Krafla - Leirhnúkur	6,9
Hólmsá	9,1	Þeistareykir	6,5
Tungnaá ofan Sigöldu	7,3	Krýsuvíkursvæði	6,3
Köldukvíslarbotnar - Hágöngur	6,6	Reykjanes - Stóra-Sandvík	5,0
Skjálfandaflljót	6,2	Gjástykki	4,5
Hagavatn	5,0	Hágöngur	4,4
Hvalá - Ófeigsfjörður	4,0	Brennisteinsfjöll	4,3
Þjórsá í byggð	3,1	Eldvörp - Svartsengi	2,1
Blanda	1,5		
Kaldakvísl - Þóristungur	1,0		

Tafla 3.8 Röð svæða eftir verðmætum tegundum lífvera, aðskilin fyrir vatnasvið og háhitasvæði. Tölurnar sýna heildarverðmætæinkunn.

VATNASVIÐ	verðmæti	HÁHITASVÆÐI	verðmæti
Jökulsá á Fjöllum	18,4	Námafjall - Bjarnarflag	11,1
Jökulsárnar í Skagafirði	12,6	Grændalur	8,2
Skjálfafljót	12,3	Torfajökull	7,6
Þjórsá ofan Sultartanga	11,7	Hengill	6,9
Hvítá í Árnessýslu - Jökulfall	11,3	Krýsuvíkursvæði	6,6
Skaftá - Langisjór - Tungnaá	9,4	Reykjanes - Stóra-Sandvík	6,0
Skaftá - Tungufljót	9,3	Krafla - Leirhnúkur	5,8
Þjórsá í byggð	9,1	Vonarskarð	5,0
Markarfljót	9,1	Þeistareykir	4,8
Hólmsá	7,3	Kerlingarfjöll	4,0
Djúpá – Vestri-Hvítá	6,6	Eldvörp - Svartsengi	3,1
Blanda	6,2	Gjástykki	3,0
Tungnaá ofan Sigöldu	5,0	Hágöngur	2,0
Kaldakvísl - Þóristungur	4,0	Brennisteinsfjöll	1,6
Hvalá - Ófeigsfjörður	3,1	Fremrinámar	1,4
Köldukvíslarbotnar -Hágöngur	1,5		
Hagavatn	1,0		

Tafla 3.9 Röð svæða eftir verðmætum í vistkerfum og jarðvegi, aðskilin fyrir vatnasvið og háhitasvæði. Tölurnar sýna heildarverðmætæinkunn.

VATNASVIÐ	verðmæti	HÁHITASVÆÐI	verðmæti
Jökulsárnar í Skagafirði	19,9	Hengill	14,7
Þjórská ofan Sultartanga	19,7	Grændalur	13,9
Skaftá - Tungufljót	13,6	Torfajökull	11,3
Skaftá - Langisjór - Tungnaá	13,6	Þeistareykir	7,7
Jökulsá á Fjöllum	12,7	Krýsuvíkursvæði	7,7
Hvítá í Árnessýslu - Jökulfall	9,8	Brennisteinsfjöll	7,3
Djúpá – Vestri-Hvítá	7,2	Krafla - Leirhnúkur	6,9
Skjálfandafliót	6,6	Gjástykkir	5,8
Hólmsá	4,9	Vonarskarð	4,6
Blanda	4,8	Eldvörp - Svartsengi	4,5
Markarfljót	4,4	Námafjall - Bjarnarflag	4,5
Þjórská í byggð	4,0	Reykjanes - Stóra-Sandvík	3,7
Tungnaá ofan Sigöldu	3,4	Kerlingarfjöll	2,9
Kaldakvísl - Þóristungur	3,4	Hágöngur	1,0
Hagavatn	2,8	Fremrinámar	1,0
Hvalá - Ófeigsfjörður	2,1		
Köldukvíslarbotnar - Hágöngur	1,0		

Tafla 3.10 Röð svæða eftir verðmætum í landslagi og víðernum, aðskilin fyrir vatnasvið og háhitasvæði. Tölurnar sýna heildarverðmætæinkunn.

VATNASVIÐ	verðmæti	HÁHITASVÆÐI	verðmæti
Jökulsá á Fjöllum	20,0	Torfajökull	20,0
Markarfljót	19,1	Vonarskarð	20,0
Skaftá – Langisjór - Tungnaá	18,6	Kerlingarfjöll	18,6
Skaftá – Tungufljót	18,3	Fremrinámar	12,3
Þjórská ofan Sultartanga	15,3	Brennisteinsfjöll	9,0
Tungnaá ofan Sigöldu	13,1	Gjástykki	8,2
Jökulsárnar í Skagafirði	12,0	Grændalur	6,7
Skjálfandafljót	12,0	Námajall - Bjarnarflag	6,6
Hvítá í Árnessýslu - Jökulfall	11,7	Hengill	6,1
Hólmsá	11,3	Krýsuvíkursvæði	6,1
Djúpá – Vestri-Hvítá	10,0	Krafla - Leirhnúkur	5,4
Hvalá - Ófeigsfjörður	8,4	Þeistareykir	4,8
Hagavatn	4,8	Reykjanes - Stóra-Sandvík	3,4
Þjórská í byggð	3,4	Hágöngur	2,8
Köldukvíslarbotnar - Hágöngur	3,4	Eldvörp - Svartsengi	1,6
Blanda	2,8		
Kaldakvísl - Þóristungur	1,0		

3.5.3 Lokaröðun virkjunarhugmynda

Tafla 3.11 Röðun svæða eftir heildarverðmætum í náttúru og menningarminjum (t.v.) og röðun með þrëpagreiningu þar sem verðmæti og sérstakt mikilvægi voru lögð til grundvallar. Við þrëpagreininguna hliðruðust nokkur svæði um 1-2 sæti en þau sem fóru upp eða niður um 3 eða fleiri sæti eru merkt.

Röð, virkjunarhugmynd og AHP raðeinkunn			Staðar-númer	Röð, virkjunarhugmynd og AHP raðeinkunn			Staðar-númer
1	Arnardalsvirkjun	109,9	12	1	Torfajökulssvæði – allar hugm.	109,9	84-90
2	Markarfljótsvirkjun B	60,9	23	2	Vonarskarð	60,9	92
3	Skaftárvirkjun	57,4	18	3	Kerlingarfjöll – allar hugm.	57,4	79-82
4	Skatastaðavirkjun B	55,2	6	4	Fremrinámar	55,2	96
5	Helmingsvirkjun	46,5	13	5	Brennisteinsfjöll	46,5	68
6	Skatastaðavirkjun C	44,7	7	6	Grændalur	44,7	77
7	Skaftáveita um Langisjó í Tungnaá	39,5	16	7	Gjástykki	39,5	100
8	Hrafnabjargavirkjun	32,9	10	8	Trölladyngja - Sogin	32,9	65
9	Búlandsvirkjun	32,6	40	9	Bitra - Ölkelduháls - Þverárdalur	32,6	74-75
10	Gýgjarfossvirkjun	32,1	32	10	Þeistareykir	32,1	101-102
11	Skaftárveita - Norðursjór - Tungnaá	24,3	17	11	Hellisheiði - Innstidalur	24,3	72-73
12	Djúpá – Vestri-Hvítá	19,1	14	12	Sveifluháls-Seltún	19,1	66
13	Bjallavirkjun m/Tungnaárlóni	19,1	25	13	Bjarnarflag - Námafjall	19,1	97
14	Bláfellsvirkjun	18,6	33	14	Hágönguvirkjun, 1. og 2. áfangi	18,6	91, 104
15	Tungnaárlón	18,0	24	15	Austurengjahver	18,0	67
16	Hólmsárvirkjun m/Hólmsárlóni	14,9	20	16	Sandfell	14,9	64
17	Hvalárvirkjun	14,7	4	17	Eldvörp - Svartsengi	14,7	63
18	Norðlingaölduveita	13,1	27	18	Krafla II, 1. og 2. áfangi	13,1	99, 103
19	Fliótshnúksvirkjun	11,9	9	19	Meitill - Gráuhnúkar - Hverahlíð	11,9	69-71

Röð, virkjunarhugmynd og AHP raðeinkunn			Staðar-númer	Röð, virkjunarhugmynd og AHP raðeinkunn			Staðar-númer
20	Hólmsárvirkjun v/Einhyrning	9,0	19	20	Reykjanes – Stóra-Sandvík	1,1	61,62
21	Hagavatnsvirkjun	8,7	39	21	Krafla I, stækkun	1,0	98
22	Urriðafossvirkjun	5,8	31				
23	Hólmsárvirkjun v/Atley	5,2	21				
24	Holtavirkjun	4,1	30				
25	Hvammsvirkjun	3,5	29				
26	Skrokkölduvirkjun	3,0	26				
27	Búðarhálsvirkjun	1,5	28				
28	Blönduveita	0,7	5				

3.5.4 Röðun virkjunarhugmynda eftir áhrifum

Tafla 3.12 Röð virkjunarhugmynda eftir áhrifaeinkunnum. Tölurnar sýna heildaráhrif.

Röð, virkjunarhugmynd og áhrifaeinkunn			Staðar-númer	Röð, virkjunarhugmynd og áhrifaeinkunn			Staðar-númer
1	Arnardalsvirkjun	12,3	12	1	Torfajökulssvæði – allar hugm.	12,4	84-90
2	Skatastaðavirkjun B	9,9	6	2	Vonarskarð	10,4	92
3	Skaftárvirkjun	9,6	18	3	Kerlingarfjöll – allar hugm.	9,9	79-82
4	Markarfljótsvirkjun B	9,2	23	4	Fremrinámar	7,5	96
5	Hrafnabjargavirkjun	9,0	10	5	Grændalur	7,2	77
6	Skatastaðavirkjun C	8,8	7	6	Brennisteinsfjöll	6,6	68
7	Gýgjarfossvirkjun	8,2	32	7	Bitra - Ölkelduháls - Þverárdalur	6,1	74-75
9	Helmingsvirkjun	7,6	13	9	Trölladyngja - Sogin	5,3	65
8	Skaftáveita um Langasjó í Tungnaá	6,9	16	8	Þeistareykir	4,9	101, 102
10	Búlandsvirkjun	6,7	40	10	Hellisheiði - Innstidalur	4,3	72-73

Röð, virkjunarhugmynd og áhrifaeinkunn			Staðar- númer	Röð, virkjunarhugmynd og áhrifaeinkunn			Staðar- númer
11	Djúpá –Vestri-Hvítá	6,4	14	11	Gjástykki	4,1	100
12	Bláfellsvirkjun	6,4	33	12	Sveifluháls - Seltún	4,0	66
13	Hólmsárvirkjun m/Hólmsárlóni	6,2	20	13	Eldvörp - Svartsengi	3,7	63
14	Skaftárveita - Norðursjór - Tungnaá	5,8	17	14	Austurengjahver	3,4	67
15	Bjallavirkjun m/Tungnaárlóni	5,6	25	15	Bjarnarflag - Námafjall	3,4	97
16	Tungnaárlón	5,6	24	16	Reykjanes – Stóra-Sandvík	3,0	61,62
17	Urriðafossvirkjun	4,7	31	17	Meitill - Gráuhnúkar - Hverahlíð	2,9	69-71
18	Fljótshnúksvirkjun	4,1	9	18	Krafla II, 1. og 2. áfangi	2,6	99, 103
19	Hvalárvirkjun	3,7	4	19	Sandfell	2,2	64
20	Norðlingaölduveita	3,6	27	20	Hágönguvirkjun	1,6	91, 104
21	Hólmsárvirkjun v/Einhyrning	3,2	19	21	Krafla I, stækkun	1,3	98
22	Holtavirkjun	3,1	30	22			
23	Hagavatnsvirkjun	2,9	39	23			
24	Hólmsárvirkjun v/Atley	2,6	21	24			
25	Hvammsvirkjun	2,5	29	25			
26	Búðarhálsvirkjun	2,2	28	26			
27	Skrokkölduvirkjun	1,4	26	27			
28	Blönduveita	0,7	5	28			

3.6 Sérstakar ábendingar frá faghópi I

Af þeim 30 svæðum sem metin voru, búatíuefstu yfirmjögmiklum náttúru- og menningarverðmætum (Tafla 1.5). Þessi svæði eru: Vatnsvið Jökulsár á Fjöllum, Torfajökulssvæðið, vatnasvið Jökulsárna í Skagafirði, Þjórsárver og Þjórsá ofan Sultartanga, vatnasvið Skaftár (þ.m.t. Langisjór), Vonarskarð, vatnasvið Markarfljóts, Kerlingarfjöll vatnasvið Hvítár í Árnessýslu (í óbyggðum) og vatnasvið Skjálfandafljóts. Að mati faghóps I ætti ekki að ráðstafa þessum svæðum til nota sem samrýmast illa eða ekki hinum ríku verndarhagsmunum.

Af sex vatnasviðum í hópi tíu efstu svæða eru fimm ómiðluð og lítt snortin en aðeins fá stór ómiðluð vatnasvið eru nú eftir í Evrópu. Á listanum eru einnig þrjú verðmæt og lítt snortin háhitasvæði með verðmætu og fágætu landslagi sem faghópurinn telur mjög mikilvægt að verði vernduð sem óbyggð víðerni laus við áberandi mannvirki. Við Jökulsárna í Skagafirði er eitt allra auðugasta og merkilegasta minjasvæði á landinu. Á fyrstu öldum Íslandsbyggðar var þar mikil byggð langt inn til dala en hún er talin hafa lagst að stórum hluta í eyði fyrir 1400. Við Héraðsvötn eru einhverjar mestu flæðiengjar á Norðurlöndum og fjölskrúðugt fuglalíf. Alþjóðlegt verndargildi fuglalífs og votlendis Þjórsárvera er þegar viðurkennt en bæði þar og á hálendinu norðan Hofsjökuls (á vatnasviði Jökulsárna í Skagafirði) eru sífrerarústir sem hafa alþjóðlegt verndargildi. Háhitasvæði eru fágæt á heimsvísu og sérstaða íslenskra svæða innan þess hóps er veruleg í ýmsu tilliti. Helgast það m.a. af samspili háhita og jökla, af ummyndunarferlum, og af því hve vatnsrík mörg þeirra eru. Flest þeirra eru lítt gróin og litauðgi þeirra og yfirborðseinkenni vel sýnileg. Faghópur I telur öll háhitasvæði landsins hafa hátt verndargildi en mat þrjú sérstaklega verðmæt: Torfajökulssvæðið, Vonarskarð og Kerlingarfjöll. Röðun svæða og virkjunarhugmynda endurspeglar að nú hefur 9 af 19 sýnilegum háhitasvæðum (þ.e. sem eru hvorki á hafsbotni né undir jökli) verið raskað með nýtingu eða rannsóknaborunum tengdum orkuvinnslu. Faghópur I taldi í fyrsta lagi að rask sem orkunýtingu fylgir hefði veruleg áhrif á verðmæti svæðanna og í öðru lagi það alla jafna skárri valkost að auka orkuvinnslu á svæðum sem þegar hefur verið raskað en að fara inn á óspillt svæði.

Ofangreind tíu svæði eru jafnframt þau sem faghópurinn mat verðmætust vegna landslags og öll eiga það sameiginlegt að þar eru óbyggð víðerni, víðáttumikil svæði þar sem athafnir mannsins eru lítt áberandi. Röð verðmætustu svæða m.t.t. bæði landslags og víðerna er þessi: Vatnasvið Jökulsár á Fjöllum, Torfajökulssvæðið og Vonarskarð, Markarfljót, Kerlingarfjöll og Skaftá-Langisjór-Tungnaá, Skaftá-Tungufljót, Þjórsárver-Þjórsá, Tungnaá-Bjallar, Fremrinámar, Jökulsárna í Skagafirði og Skjálfandafljót. Vatnsaflsvirkjanir og jarðvarmavirkjanir hafa mjög mikil áhrif á landslag og víðerni, ekki síst á miðhálendinu og faghópur I telur að þau áhrif hljóti að vega þungt við ákvarðanir um hvort leyfa eigi framkvæmdir tengdar orkunýtingu. Reynslan sýnir að rannsóknaborholum á háhitasvæðum getur fylgt mikið óafturkræft rask og sjónræn áhrif og ákvörðun um verndun landslags, víðerna og hitaháðs lífríkis verður því að taka áður en verðmæti þeirra hefur verið rýrt með því raski sem fylgir rannsóknaborunum.

Faghópur I vill að auki koma einni sérstakri ábendingu varðandi verndun til stjórnvalda. Það er mat faghópsins að suðurhluti miðhálendisins, á hinu eldvirka belt frá Markarfljóti og austur að Skaftá búi yfir mjög miklum verðmætum, einkum í jarðminjum, landslagi og víðernum, en einnig að hluta í lífríki. Innan þessa svæðis falla mörg af merkilegustu jarðfræðifyrirlæmum landsins svo sem Torfajökulssvæðið, Eldgjá (frá Mýrdalsjökli að Langasjó), Lakagígar og

Skaftáreldahraunið, móbergshryggir við Langasjó, Tungnaá, og suðaustan Torfajökulssvæðisins og Markafljótsgljúfur. Einnig má nefna Rauðubotna, Mælifellssand og Þórsmörk/Almenninga. Svæðið er ekki sérstaklega lífauðugt en þar eru þó tvenns konar vistkerfi sem eru mjög óvenjuleg á heimsvísu, breiskjuhraunin á hálendi Skaftáreldahrauns og hið þykka mosagróna Eldhraun á láglendi. Svæðið býr yfir einstaklega fjölbreyttu landslagi sem sumt á sér óvíða, og jafnvel hvergi hliðstæðu og stórir hlutar þess eru enn lítt snortið víðerni.

3.7 Tillögur um frekari rannsóknir

Staða þekkingar var mjög breytileg eftir svæðum og viðföngum og víða skortir enn grunngögn og yfirsýn um menningarminjar og náttúru Íslands. Sameiginlegur Akkillesarhæll margra viðfanga er að þekking er enn gloppótt og yfirsýn vantar þannig að erfitt er að meta verðmæti einstakra svæða á mælikvarða landsins alls. Oft er þekking mest þar sem eru fýsilegar virkjunarhugmyndir og virkjunaraðilar hafa kostað.

Varðandi áframhaldandi vinnu við rammaáætlun vill faghópur I koma þeim skilaboðum til verkefnisstjórnar og stjórnvalda að hann telur sérstaklega mikilvægt að bæta rannsóknir og þekkingu á eftirfarandi sviðum:

1. Landslag nær allra háhitasvæða á landinu var metið sérstaklega fyrir 2. áfanga rammaáætlunar en enn vantar samsvarandi vinnu fyrir virkjunarsvæði vatnsafls. Þá er mjög æskilegt að þróa stafræna útgáfu flokkunarkerfisins sem hægt væri að beita til að fá heildstæða flokkun fyrir landið allt. Slík stafræn útfærsla þýðir líka að flokkunarkerfið getur nýst beint í hefðbundna skipulagsvinnu. Faghópurinn telur auk þess mjög mikilvægt að fá mat á fagurfræðilegu, upplifunar- og tilfinningalegu gildi íslensks landslags. Fáar rannsóknir hafa verið gerðar á þessu sviði en það er mat okkar að þessi þáttur skipti miklu máli fyrir almenning, fyrir heimamenn á mögulegum virkjunarsvæðum og almennt fyrir þá sem láta sig íslenska náttúru varða. Að því má einnig færa rök að sérstaða íslenskrar náttúru á heimsvísu sé hugsanlega einna mest í landslagi, sem endurspeglar af sérstæðri jarðfræði og jarðfræðilegri uppbyggingu landsins. Í umsagnarferlinu vorið 2010 komu einnig fram athugasemdir frá nokkrum aðilum um að mikilvægt væri að gera þessum þáttum betri skil.
2. Fyrir 2. áfanga rammaáætlunar voru gerðar rannsóknir á hitakærum örverum á fimm háhitasvæðum: Hengilssvæðinu, Torfajökulssvæði, Vonarskarði, Kröflu/Námafjalli og Krýsuvík. Að auki lágu fyrir nokkur gögn frá Þeistareykjum og Gjástykki. Gögn vantaði hins vegar fyrir allnokkur svæði, meira að segja stórt svæði eins og Kerlingarfjöll. Faghópurinn stóð frammi fyrir því að ákveða hvort nýta ætti þessar rannsóknir og geta þá í eyðurnar fyrir þau svæði sem vantaði eða að sleppa örverunum alveg eins og gert var í 1. áfanga rammaáætlunar. Af tveimur slæmum kostum valdi faghópurinn þann fyrri en það var m.a. gagnrýnt af Orkuveitu Reykjavíkur. Mikilvægt er að bæta við rannsóknunum, þannig að yfirsýn fáiist um öll svæði með víðtækri ummyndun á yfirborði og a.m.k. úrtak háhitasvæða með takmarkaðri ummyndun.
3. Háhitasvæðin hafa margvíslega sérstöðu og þau eru fágæt á heimsvísu. Brýnt er að fá heildstæðari mynd af verndargildi þeirra þar með talið mat á sérstöðu íslenskra svæða í alþjóðlegu samhengi, svo sem í landslagi, jarðefnafræði, jarðvarmafræði, og svo vistfræðilegri sérstöðu og líffræðilegri fjölbreytni.
4. Mikilvægt er að auka þekkingu á fjaráhrifum og óbeinum áhrifum stórra vatnsaflsvirkjana.

Hér er einkum átt við hugsanleg áhrif á lífríki sjávar, á uppeldisskilyrði fiskistofna og á strandrof og aðrar breytingar á strandlínu. Þá teljum við einnig mikilvægt að bæta forspárgildi varðandi fok frá uppistöðulónum og úr árfarvegum sem þorna tímabundið að miklu eða mestu leyti við virkjun.

5. Að lokum vill faghópurinn koma þeim almennu skilaboðum til stjórnvalda að hann telur mikilvægt að reynt sé að leggja einhvers konar mat á sérstöðu íslensks landslags, háhitasvæða og jarðminja í alþjóðlegu samhengi.

3.8 Skilgreiningar og forsendur fyrir mati á verðmætum og áhrifum

3.8.1 Menningarminjar

Skilgreining: Til menningarminja teljast hvers kyns leifar fornra mannvirkja og annarra staðbundinna minja sem menn hafa gert eða mannaverk eru á og eru 100 ára og eldri, eins og gert er ráð fyrir í þjóðminjalögum, nr. 107/2001. Við matið var einnig litið til atriða sem tengjast sögu og þjóðtrú.

Forsendur: Menningarminjar eru mikilvægar heimildir um fortíðina, sögu þjóðarinnar, jafnt einar sér sem í tengslum við umhverfi sitt. Verndun menningarminja þarf að taka mið af því að allar tegundir minja eru eða geta verið mikilvægar heimildir um sögu þjóðarinnar. Í menningarminjum er eins víst að fólgnar séu upplýsingar um þætti sem ekki eru til aðrar heimildir um, s.s. þróun húsagerðar, lífskjör mismunandi stétta eða þjóðfélagshópa, heilsufar, neysluvenjur, húsdýrahald, landnýtingu o.m.fl. Eyðibýggðir og búseta útilegumanna á hálendinu hafa mikið fágætisgildi, rannsóknargildi, fræðslugildi og einnig mikið varðveislugildi vegna þess hve sjaldgæfar þær eru og vegna staðsetningar þeirra; dreifing þeirra um landið er ekki mikil.

Gagnagrunnur: Grundvöllur fyrir marktæku mati á menningarminjum á fyrirhuguðum virkjunarsvæðum er skráning fornleifa á vettvangi en skráninguna skortir víða á þeim svæðum sem til mats komu, sérstaklega þar sem vatnsaflsvirkjanir eru fyrirhugaðar. Fornleifavernd ríkisins gerði úttekt á fornleifum á jarðvarmasvæðum fyrir 2. áfanga rammaáætlunar en einnig var stuðst við virkjanaskýrslur, ýmsar skráningar- og rannsóknarskýrslur, Árbækur Hins íslenska fornleifafélags, ferðabækur, og staðháttalýsingar..

Verðmætamat: Menningarminjar á hálendinu tengjast búsetu, samgöngum, sögu og þjóðtrú. Sumar hverjar eru einstakar, eins og fornar leiðir, vörður, eyðibýggðir, gæsaréttir og útilegumannabústaðir. Leifar búsetu á hálendinu frá elstu tíð bera vitni um allt annars konar umhverfi þar en nú blasir við. Verndargildi svæðanna eykst enn fremur vegna fjölda minjanna og samhengisins á milli þeirra innbyrðis. Fornar leiðir og eyðibýggðir eru margar sérstæðar og fágætar, svæðisbundin samsetning þeirra (heild) sömuleiðis og rannsóknargildi og fræðslugildi þess vegna víða mikið, ekki síst vegna góðs aðgengis. Almennt má segja að menningarminjar í landslaginu, hvort sem um er að ræða rústir eða hús, hafi mikið fræðslugildi. Minjarnar færa fortíðina nær fólki en aðrar heimildir, virkja ímyndunaraflið og auka skilning.

Mat á áhrifum: Lagt var mat á hvort framkvæmdin skerti fjölbreytni, heildir, upplýsingagildi, fágætar minjar og hvort minjar, sem eru sérstaklega friðlýstar skv. þjóðminjalögum, myndu skerðast eða raskast.

Rask á fornleifum af völdum virkjana felst einkum í þrennu:

Eyðing eða röskun: Við eyðingu eða röskun er þeim eytt á óafturkræfan hátt. Taka jarðefna, tilfærsla efnis eða skeringar í jarðveg, þar sem eru fornleifar, geta eytt þeim eða skert þær til muna svo að þær verði ekki lengur til staðar eða hlutar og þættir minjanna hverfi. Eins geta breytingar á vatnsföllum eða lónum leitt til þess að fornleifar eyðist af rofi með tímanum vegna nálægðar við bakka.

Hulning: Fornleifar geta hulist undir virkjunarlónum eða mannvirkjum svo að þær verði ekki lengur aðgengilegar nema þá stundum við sérstakar aðstæður, að hægt sé að grafa þær aftur upp. Er þá engin víska um ástand þeirra. Fræðslugildi og rannsóknargildi minjanna glatast algerlega ef þær eru ekki lengur aðgengilegar.

Samhengisrof: Með því að raska hluta af heildstæðu landslagi er hætta á að samhengi minja, minjaheilda og/eða menningarlandslags verði rofið og þar með gæti gildi fræðslu, rannsókna, fágætis og upplifunar minnkað til muna.

3.8.2 Jarðminjar og vatnafar

a) Berggrunnur

Skilgreining: Fast berg úr ýmiss konar jarðlögum, sem myndar samfellda heild, með ummerkjum höggunar (tektóník). Til berggrunns teljast einnig gosstöðvar frá nútíma, einkum formgerð, þó að þær séu úr gjalli, vikri eða öðrum lausum efnum.

Forsendur: Margar gerðir íslenskra jarðminja hafa mikið fágætisgildi á heimsmælikvarða (dyngjur, goshrýggir, móbergsfjöll, leir- og kalksnauður jökulruðningur o.fl.). Dreifing þeirra um landið er ójöfn og því geta jarðminjar haft svæðisbundið fágætisgildi innanlands þó að gnótt sé af þeim annars staðar. Fjölbreytni þeirra (stað- og svæðisbundin samsetning) eykur enn á fágætisgildið umfram tilvist einstakra gerða.

Gagnagrunnur: Virkjanaskýrslur, jarðfræðikort, staðþekking.

Verðmætamát: Gosvirkni og upphleðsla berggrunns er einstæð á Íslandi að því leyti að þar er virkur úthafshryggur á þurru landi í samverkan við heitan reit og sniðgengi af hans völdum. Eldstöðvar og berglagastaflar eru því margar sérstæðar og fágætar, svæðisbundin samsetning þeirra (heild) sömuleiðis og rannsóknargildi þeirra í kjölfarið en fræðslugildi víða mikið vegna góðs aðgengis og augljósrar samtengingar jarðminjanna.

Mat á áhrifum: Rask á jarðminjum af völdum virkjana felst einkum í þrennu:

Eyðing: Taka jarðefna, tilfærsla efnis eða skeringar í jarðminjar geta eytt þeim eða skert til muna svo að þær séu ekki lengur til staðar eða hlutar og þættir minjanna séu eyddir. Eins geta breytingar á vatnsföllum eða lónum leitt til þess að jarðminjar eyðist af rofi með tímanum.

Hulning: Jarðminjar geta hulist undir virkjunarlónum eða mannvirkjum svo að þær séu ekki lengur aðgengilegar nema þá stundum við sérstakar aðstæður, oft erfiðar, t.d. við lágstöðu í lónum en þá jafnvel undir sethulum.

Samhengisrof: Samfella jarðminja og ummerki myndunarferla þeirra getur slitnað sundur þó að jarðminjunum sjálfum sé einungis eytt, eða þær huldar, að litlu leyti. Heild þeirra og þekkingargildi geta raskast stórlega við það, auk skerðingar á fágætisgildi þeirra.

b) Jarðgrunnur

Skilgreining: Laus jarðefni á yfirborði, yfirleitt frá ísöld eða eftir lok ísaldar, ásamt menjum eftir mótunaröfl eins og jökla, vötn og vinda. Til jarðgrunns teljast einnig laus gosefni á yfirborði eins og vikur og gjall, þ.á m. gígar hvað efnisgerð varðar.

Forsendur: Jarðgrunnur (laus jarðlög) á hálendi eru einkum margs konar jökulset úr basískum eldgosaefnum, áreyrar, fornar og nýjar og öskulög. Allar þessar gerðir eru fremur fágætar á heimsvísu en aðgengi þeirra víða gott hérlandis.

Gagnagrunnur: Virkjanaskýrslur, jarðfræðikort, staðþekking.

Verðmætatamat: Jarðminjar tengdar jökulstigum (glacial stadial) eru á þó nokkrum svæðum og stöðum vel varðveittar á hálendinu (jökulgarðar, endasleppir sandar, malarásar o.fl.) og hafa vissa sérstöðu í því að vera myndaðar á flatlendi af orkuríkum jöklum. Samband þeirra við aðrar jarðminjar, svo sem fornar áreyrar og farvegi, myndar sums staðar stórar atburðaheildir, sem hafa töluvert fágæti og verulegt upplýsingagildi. Öskulög frá íslenskum eldstöðvum hafa mikið jarðsögulegt gildi, m.a. fyrir athuganir á setlögum á hafsbotni.

Mat á áhrifum: Beint og óbeint rask á jarðgrunni er með sama hætti hvað hulningu varðar og lýst var að ofan en við bætist að efnistaka er oft veruleg úr lausum byggingarefnum. Við það er þeim eytt á óafturkræfan hátt.

c) Grunnvatn

Skilgreining: Grunnvatn er allt vatn neðanjarðar, jarðraki í jarðvegi, streymandi grunnvatn, bæði kalt og heitt, ástand vatnsins, veitar þess (*aquifers*) og uppkomur, jafnt bleytur og lindir sem hverir og laugar. Þetta undirviðfang er einna síst sýnilegt vegna þess að það er undir yfirborði en það dregur ekki úr mikilvægi þess.

Forsendur: Ísland er eitt af hlutfallslega grunnvatnsauðugustu löndum jarðar og er að miklu leyti tengt við lek berglög á ýmsum stigum lektarþróunar og sprunguskara sem er nokkuð sérstætt en rannsóknaraðgengi er tiltölulega gott að grunnvatni hérlandis.

Gagnagrunnur: Virkjanaskýrslur, rannsóknarskýrslur verkfræðistofa, jarðfræðikort (þar sem þau eru til), vatnaskrár, staðþekking.

Verðmætatamat: Grunnvatnsauði og grunnvatnsaðstæður hér á landi hafa umtalsvert fágætisgildi, mynda víða stórar og merkilegar heildir og hafa verulegt upplýsingagildi vegna frekar góðs aðgengis.

Mat á áhrifum: Grunnvatn getur orðið fyrir breytingum við það að vatnsborð hækkar eða lækkar í grunnvatnsgeyminum, hitastig getur breyst vegna breytinga í vatnsmagni og vegna beinnar hitamengunar af völdum affallsvatns, aðrennsli og þá útrennsli lindavatna getur breyst, leiðir grunnvatnsstrauma geta jafnvel tekið breytingum og ástand grunnvatnsins getur breyst. Tilfærsla vatna hefur yfirleitt áhrif á grunnvatn utan vatnanna sjálfra.

d) Fallvötn

Skilgreining: Rennandi vatn í samfelldum farvegi á yfirborði af mismunandi uppruna (lindár, jökulár, dragár), vatnakerfi þeirra (þverár og net aðrennslis), rennslishættir og breytileiki í tíma (m.a. hlaup og flóð), farvegir, farvegaþróun og ástand vatnsins (þ.m.t. aurburður).

Forsendur: Meiri háttar fallvötn á hálendinu eru yfirleitt sérkennileg blanda af jökul-, linda- og dragvatni en farvegir þeirra víða enn í örri mótun. Stöðuvötn mynda merkilegt róf

(spektrum) eftir myndun, vatnshag og ástandi vatnsins í þeim.

Gagnagrunnur: Virkjanaskýrslur, vatnaskrár, sérskýrslur, staðþekking. Flokkun íslenskra jökuláa (Líffræðistofnun Háskólans, Orkustofnun, Veiðimálastofnun o.fl.).

Verðmætamat: Fjölbreytni í samsetningu og farvegir fallvatna hafa töluvert fágætisgildi á veraldarvísu en einnig mikið upplýsingagildi. Sama gildir um samtengingu mismunandi vatnagerða á vatnasviðum þar með talin stöðuvötn og áhrif þeirra í vatnshag og ástand vatns auk þess sem þau hafa verulegt gildi vegna gerðar- og ástandsrofs þeirra.

Mat á áhrifum: Virkjun fallvatna felst í því að veita vötnum til í því augnamiði að nýta sem best fall þeirra og þarf þá yfirleitt að gera fyrir þau nýja farvegi (vatnsvegi) og uppistöður (veitu- og miðlunarlón). Aðgerðir þessar og mannvirki geta breytt vatnafari á vatnasviði viðkomandi fallvatna til mikilla muna og jafnvel fært fallvötnin yfir á önnur vatnasvið. Mestar eru yfirleitt breytingarnar á fallvötnum. Þeim er veitt úr farvegi sínum, sem við það getur þornað meira eða minna, lengur eða skemur, gerðir eru nýir vatnsvegir fyrir þau (skurðir, göng, veiting í farvegi annarra vatna eða í nýja farvegi) en af þessum gerðum verður breyting á staðsetningu þeirra, vatnsmagni, rennsli og ástandi (hiti, efni, aurburður). Jafnframt verða breytingar á farvegum þeirra, sem geta leitt til bakkabrots, upphleðslu eða rofs á seti (eyrum) og breytingu á grunnvatnsstöðu við þau, auk þess sem rennslishættir, eins og hlaup, flóð, þurrðir og ísalög geta breyst.

e) Stöðuvötn

Skilgreining: Samfelldir vatnsbolir í stöðugum vatnslægjum á yfirborði með vart merkjanlegum halla né rennsli, form þeirra, bakkar og botn, aðrennslishættir og ástand vatnsins í þeim. Unnið hefur verið að yfirgrípsmiklum rannsóknum á íslenskum stöðuvötnum á vegum Náttúrufræðistofu Kópavogs, Líffræðistofnunar Háskólans, Hólaskóla og Veiðimálastofnunar og er vistfræðileg flokkun þeirra langt komin og er stuðst við hana hér.

Forsendur: Flestar gerðir íslenskra stöðuvatna má finna annars staðar á jörðinni en fjölbreytt samsetning þeirra á stóru svæði er nánast einsdæmi, sem byggist á einstökum jarðfræðilegum og veðurfræðilegum aðstæðum. Dreifing vatnagerða um landið er mjög misjöfn og að sama skapi landshlutabundið fágæti.

Gagnagrunnur: Vistfræðileg flokkun íslenskra stöðuvatna (Náttúrufræðistofa Kópavogs o.fl.), virkjanaskýrslur, staðþekking.

Verðmætamat: Vistfræðileg gerð vatna ásamt stærð þeirra og dýpi og umfangi vatnakerfa endurspeglar að vissu marki megin þeirra (*potential*), bæði aflrænt og lífrænt. Samtengd heild vatna og vatnakerfa er ráðandi fyrir aðrennsli þeirra, farvegi, veita og vatnslægi, afrennsli og ástand vatnsins.

Mat á áhrifum: Stöðuvötn geta sum verið ræst fram að meira eða minna leyti, önnur aukin sem virkjunarlón og vatnsborði þeirra breytt en enn önnur geta verið búin til frá grunni sem virkjunarlón. Við þessar breytingar getur bakkabrot við vötnin breyst, vatnsborðssveiflur geta breyst og leitt til ofanskolunar efna í vötnin eða uppfoks efna úr þeim og loks getur ástand vatnsins í þeim breyst. Rask á vötnum af völdum vatnsaflsvirkjana er margvíslegt en það má þó draga saman í fjóra meginþætti sem allir lúta að breytingum: Magnbreytingar, lægisbreytingar, ástands-breytingar og samhengisbreytingar.

Magnbreytingar: Magnbreytingar fela í sér breytingar á rennsli og rennslisháttum fallvatna og grunnvatnsstrauma, breytingar á stærð vatnsbols og vatnsborði stöðuvatna og grunnvatns, þar með veitingar fallvatna úr einu lægi (farvegi) í annan, framræsingur stöðuvatna og myndun nýrra (veitu- og virkjunarlón), skerðingu eða aukningu á aðrennsli til grunnvatns og aðrar breytingar á vatnshag vatnanna.

Lægisbreytingar: Lægisbreytingar fela í sér breytingar á farvegum og farvegaþróun fallvatna, botni og bökkum stöðuvatna og veitum eða rennslisleiðum grunnvatns.

Ástands-breytingar: Ástands-breytingar fela í sér breytingar á hitafari, efnainnihaldi, sýrustigi og aurburði vatna.

Samhengisbreytingar: Samhengisbreytingar fela í sér breytingar á ferli vatnsins í vötnunum, vatnasviðum þeirra og mótun ástands vatnsins, þ.e. hinum aflrænu og efnafræðilegu ferlum vatnsins í náttúrunni og mótun vatnanna. Hér er ekki síst um vatnaveitingar og nýmyndun virkjunarlóna að ræða.

3.8.3 Lífverur

Skilgreining: Fyrir dýr og plöntur var miðað við tegundir og viðurkennd afbrigði eða sérstaka stofna eins og þau eru skilgreind fyrir flóru og fánu landsins. Fyrir örverur var oftast miðað við tegundir en stundum hærri flokkunareiningar.

Forsendur: Líffræðileg fjölbreytni (*biodiversity*) nær yfir samanlagða fjölbreytni á öllum skipulagsstigum lífríkis jarðar; frá genum, stofnum, tegundum og samfélögum upp í fjölbreytni á landslagskvarða og á stækkandi kvörðum allt upp í lífbelti jarðar. Ásamt flestum öðrum ríkjum heims hefur Ísland tekið á sig skuldbindingar varðandi verndun líffræðilegrar fjölbreytni. Einkum má vísa til **Samningsins um líffræðilega fjölbreytni** (*Convention on Biological Diversity*, <http://www.cbd.int/> og á íslensku á: http://www.umhverfisraduneyti.is/media/PDF_skrar/Samningur-um-liffraedilega-fjolbreytni.pdf og **Bernarsamningsins um villtar plöntur og dýr í Evrópu** (*Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats, Bern Convention*) en markmið hans eru einkum að vernda evrópskar tegundir villtra plantna og dýra. Gríðarleg vinna væri að mæla líffræðilega fjölbreytni með beinum hætti á öllum skipulagsstigum lífríkis, jafnvel fyrir lítil svæði, og það er aldrei gert. Í staðinn eru notaðar einfaldari breytur sem vísitölur fyrir heildarfjölbreytni og eru tegundir lífvera sú eining sem oftast er notuð. Hvað fiska snertir eiga við ákvæði skv. samþykktum Laxaverndunarsjóðsins (NASCO, þ.e. *Convention for the Conservation of Salmon in the North Atlantic Ocean*).

Verðmætamát: Viðfanginu tegundir lífvera var skipt í 5 undirviðföng: háplöntur, fugla, fiska, smádýr í vatni og hitakærar örverur. Aðra hópa lífvera, s.s. mosa, fléttur, smádýr á landi og örverur í jarðvegi, var ekki hægt að meta vegna þess að gögn skorti. Undirviðföng vógu ekki jafnt heldur vógu háplöntur 25%, fuglar 25%, fiskar 20%, smádýr í vatni 10% og hitakærar örverur 20%. Plöntur eru frumframleiðendur og undirstaða nær allra vistkerfa jarðar og af öllum hópum lífvera eru gögn um háplöntur einna best. Faghópurinn taldi því að þær ættu að fá hátt vægi. Fuglar eru mjög mikilvægir í náttúru Íslands og sá hópur íslenskra dýra sem hefur mest verðmæti á heimsvísu. Tveir hópar lífvera sem bundnir eru við vatn voru líka metnir sérstaklega (fiskar og smádýr). Þessir hópar skipta sérstöku máli hér vegna þess að vinna rammaáætlunar beinist sérstaklega að fallvötnum en faghópurinn taldi að þessir hópar ættu að fá aðeins lægra vægi (fiskar) og talsvert lægra vægi (smádýr) miðað við lykilhópa plantna og fugla.

Vegna gagnaskorts var hitakærum örverum sleppt alveg í 1. áfanga rammaáætlunar en að honum loknum voru styrktar rannsóknir á vegum Matís til að afla nauðsynlegrar þekkingar til að meta líffræðilega sérstöðu, fjölbreytni og fágæti og mikilvægi örveruflórunnar á jarðhitasvæðum landsins. Rannsóknir voru gerðar á 5 svæðum: Hengli, Torfajökli, Krýsuvík, Kröflu og Vonarskarði. Einnig voru til rannsóknaniðurstöður frá Þeistareykjum og Gjástykki og nokkur sýni höfðu áður verið tekin í Gunnuhver á Reykjanesi og við Námafjall. Engar rannsóknir höfðu hins vegar farið fram á fjórum svæðum: Brennisteinsfjöllum, Eldvörpum, Kerlingarfjöllum og Fremrinámum. Faghópur I stóð því frammi fyrir því að velja milli tveggja kosta. Annar var að sleppa örverunum alveg eins og gert var í 1. áfanga. Sá kostur var ekki góður því þá yrði áfram litið framhjá mikilvægum verðmætum og ekki nýttar rannsóknir sem sérstaklega var farið í fyrir 2. áfanga rammaáætlunar. Hinn kosturinn var að meta örverurnar en þá yrði að reyna að geta í eyðurnar fyrir svæðin sem vantaði upplýsingar um. Þetta var svo sem ekki góður kostur heldur en talið var mögulegt að meta þau svæði út frá samanburði við metin svæði með svipaða yfirborðsvirkni og hveragerðir. Sólveig Pétursdóttir örverufræðingur hjá Matís sem stýrði rannsóknunum á vegum rammaáætlunar vann matið fyrir öll svæðin.

Mat á áhrifum: Metið var hversu mikil áhrif framkvæmdin gæti haft á tegundaaudgi og hvort hún gæti skert eða útrýmt sjaldgæfum tegundum, stofnum eða afbrigðum. Áhrif teljast mikil ef framkvæmd eyðileggur eða raskar sérlega tegundaaudugum svæðum, skerðir mikilvæg búsvæði sjaldgæfra tegunda, hefur neikvæðar afleiðingar fyrir tegund sem nýtur friðlýsingar eða er á válista eða telst vera sérstök ábyrgðartegund Íslands eða ef framkvæmdin stangast með einhverjum hætti á við íslensk lög eða alþjóðasamþykktir. Orkunýtingu fylgja ýmsar breytingar á yfirborðsvirkni þegar til lengdar lætur og sumar þeirra (s.s. breytingar á sýrustigi) geta haft áhrif á hin sérstöku hitakæru vistkerfi örvera og á einstaka hópa þeirra.

Gagnagrunnar og heimildir: Ýmsar bækur og skýrslur, tímaritsgreinar, válistar Náttúrufræðistofnunar Íslands og náttúrufræðisránnsóknir á vegum rammaáætlunar. Fyrir háplöntur og fugla var fyrir flest svæði byggt beint á gagnagrunnum Náttúrufræðistofnunar Íslands, þ.e. útbreiðslu og fundarstöðum í 10*10 km hnitakerfi.

3.8.4 Vistkerfi og jarðvegur

a) Vistkerfi

Skilgreining: Þar sem upplýsingar lágu fyrir voru verðmæti vistkerfa og lífverusamfélaga metin eftir kerfi Náttúrufræðistofnunar Íslands þar sem einingin er vistgerð (*habitat type*). Náttúrufræðistofnun skilgreinir vistgerð með eftirfarandi hætti: „Landeining sem býr yfir ákveðnum eiginleikum hvað varðar loftslag, berggrunn, jarðveg, gróður og dýraíf. Innan sömu vistgerðar eru aðstæður með þeim hætti að þar þrífast svipuð samfélög plantna og dýra þótt langt geti verið á milli svæða með sömu vistgerð“ (sjá t.d. <http://www.ni.is/grodur/rannsoknir/vistgerdir/vistgerdir>). Flokkun í vistgerðir er byggð á plöntusamfélögum. Vistgerðarannsóknir hafa nú farið fram á 7 svæðum á hálendinu og þar hafa 24 vistgerðir verið skilgreindar. Þar sem ekki lágu fyrir vistgerðakort var stuðst við gróðurkort.

Forsendur: Vistgerðir endurspeglar helstu flokka búsvæða og fjölbreytni gróðurs og dýralífs. Ísland hefur tekið á sig skuldbindingar í alþjóðlegum sáttmálum (m.a. í Ramsar sáttmálanum um verndun votlendis (http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-home/main/ramsar/1_4000_0) og Bernarsamningnum) um verndun ákveðinna búsvæða og vistgerða, m.a. votlendis. Á lista Evrópuráðsins yfir fágætar vistgerðir sem skal vernda eru flár (þ.e. mýrar með sífrerarústum) og melhólar. Sumar íslenskar vistgerðir eru fágætar á heimsvísu, t.d. mosagrónar hraunbreiður, hraun vaxin breiskjufléttum og lífverusamfélög jarðhita- og lindasvæða. Íslensk stöðuvötn hafa verið greind í 6 megingerðir sem eru hliðstæðar við vistgerðir á þurru landi.²⁷

Gagnagrunnur: Stuðst var við vistgerðakort Náttúrufræðistofnunar en gróðurkort þar sem þeim sleppti. Fyrir samfélög í vatni var stuðst við áður nefnda flokkun stöðuvatna og hliðstæða flokkun fyrir jökulár.²⁸

Verðmætamat: Gefnar voru einkunnir fyrir fimm viðmið (eða verðmætahætti, i-v). Svæði fengu háa einkunn ef á þeim voru i) Sérlega fjölbreyttar vistgerðir eða gróður, eða sérlega margar vistgerðir eða gróðurflokkar (viðmiðið *fjölbreytni*), ii) Fágætar vistgerðir eða gróður (viðmiðið *fágæti*). Flatarmál svæðis er mikilvægt vegna þess að stór, samfelld svæði eru líffræðilega mikilvægari og verðmætari en lítil eða sundurslitin. Stærð svæðis skiptir m.a. máli fyrir verndun líffræðilegrar fjölbreytni og lífvænlegir stofnar sumra tegunda þrífast ekki nema á stórum svæðum. Þá voru óröskuð svæði metin hærra en röskuð. Þessi þrjú viðmið voru metin saman sem eitt viðmið: iii) *Stærð, samfella og heild, óröskuð/röskuð*. iv) Undir viðmiðið *alþjóðleg*

²⁷ Arnþór Garðarsson, 1979. *Vistfræðileg flokkun íslenskra vatna*. Týli 9, bls. 1-10.

Hilmar J. Malmquist. 1998. *Ár og vötn á Íslandi: Vistfræði og votlendistengsl*. Í: Íslensk votlendi verndun og nýting (Jón S. Ólafsson ritstj.). Háskólaútgáfan, bls. 37-55.

Hilmar J. Malmquist, Jón S. Ólafsson, Guðni Guðbergsson, Þórólfur Antonsson, Skúli Skúlason og Sigurður S. Snorrason. 2003. *Vistfræði- og verndarflokkun íslenskra stöðuvatna*. Verkefni unnið fyrir Rammaáætlun um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Áfangaskýrsla. Náttúrufræðistofa Kópavogs. Fjölrit nr. 1-03, 33 bls.

²⁸ Gísli Már Gíslason, Hákon Aðalsteinsson and Jón S. Ólafsson, 1999. *Studies on arctic and alpine streams in Europe with special emphasis on glacial rivers in Iceland*. Proceedings of Northern Research Basins. Twelfth International Symposium and Workshop. Iceland University Press, Reykjavík, 83-92.

Gísli Már Gíslason, Hákon Aðalsteinsson, Jón S. Ólafsson & Iris Hansen, 2000. *Invertebrate communities of glacial and alpine rivers in the central highland of Iceland*. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 27, 1602-1606.

ábyrgð falla svæði sem eru sérlega mikilvæg búsvæði tegunda sem njóta alþjóðlegrar verndar og eru á lista Bernarsamningsins eða falla undir sáttmálann vegna þess að þau teljast sjaldgæf eða mikilvæg búsvæði. v) Fimmta viðmiðið var svo þekkingargildi en sum svæði hafa sérstakt gildi til vísindarannsókna eða fyrir fræðslu, t.d. þau sem eru nálægt byggð.

Mat á áhrifum: Lagt var mat á hversu mikið framkvæmdin skerðir fjölbreytni vistgerða/gróðurs á svæðinu, hvort fágætar eða sérlega fjölbreyttar vistgerðir glattist og hvort gróðurlendi/vistgerðir sem njóta sérstakrar verndar skv. íslenskum lögum eða alþjóðasamþykktum myndu skerðast eða raskast. Þar var m.a. horft til 37. gr. Náttúruverndarlaga um sérstaka vernd en hún á við um birkiskóga, votlendi, tjarnir og vötn. Þá var metið hvort framkvæmdin myndi skerða flatarmál mikilvægra vistgerða/gróðurs svo mikið að það geti haft áhrif á lífvænleika stofna eða á starfsemi vistkerfa.

b) Jarðvegur

Skilgreining: Jarðvegur er almennt skilgreindur sem laus lög á yfirborði jarðar þar sem gróður fær þrífist (t.d. Arnalds, Wilding & Hallmark, 1992, Ólafur Arnalds o.fl., 1997²⁹). Jarðvegshugtakið tekur því einnig til auðna þar sem lífrænn jarðvegur er sáralítill. Faghópurinn miðaði verðmætamat sitt hins vegar fyrst og fremst við lífrænan jarðveg. Viðáttumiklar auðnir gátu þess vegna ekki fengið háa einkunn vegna jarðvegs.

Forsendur: Jarðvegur er undirstaða fyrir gróður. Á Íslandi myndast hann á mjög löngum tíma og er því ekki endurnýjanleg auðlind á sama hátt og ýmsar lífrænar auðlindir, t.d. lífverustofnar. Uppblástur og jarðvegseyðing frá upphafi Íslandsbyggðar hafa stórlega skert forða landsins af lífrænum jarðvegi. Á miðhálandinu myndar samfelldur gróður með gömlum, lífrænum jarðvegi sums staðar einangraðar eyjar. Einkum er lítið eftir af þurrlendisjarðvegi.

Gagnagrunnur: Byggt var á skýrslum um náttúrufar og á vistgerðakortum en að auki á skýrslum og kortum Ólafs Arnalds o.fl.

Verðmætamat: Gamall, lífrænn jarðvegur er verðmæt auðlind sem myndast á tíma sem talinn er í þúsundum ára. Hann er undirstaða fyrir gróskumikinn gróður. Jarðvegur er því alltaf verðmætur en lífrænn jarðvegur á miðhálandinu hefur auk þess sérstakt gildi vegna þess að mestur hluti þessarar auðlindar hefur horfið þar. Lífrænn jarðvegur geymir auk þess mikilvægar upplýsingar í öskulögum og lífrænum leifum og frjókornum og úr þeim má m.a. lesa sögu gróðurs og loftslags. Þekkingargildi slíks jarðvegs er því mikið.

Mat á áhrifum: Lagt var mat á hvort og hversu mikill lífrænn jarðvegur gæti tapast eða raskast með framkvæmdunum. Einnig voru áhrif á fágæti og möguleika til þekkingaröflunar metin. Einnig var tekið tillit til hættu á áfoki frá uppstöðulónum að svo miklu leyti sem það var hægt, en gróft áfok hefur mikil áhrif á jarðveginn og eykur hættu á enn frekari uppblæstri.

²⁹ Ólafur Arnalds, L.P. Wilding og C.T. Hallmark, 1992. *Drög að flokkun rofmynda á Íslandi*. Í Græðum Ísland: árbók Landgræðslunnar IV, bls. 55-72.

Ólafur Arnalds, Elín Fjöla Þórarinsdóttir, Sigmar Metúsalemsson, Ásgeir Jónsson, Einar Grétarsson og Arnór Árnason, 1997. *Jarðvegsrof á Íslandi*, Landgræðsla ríkisins og Rannsóknastofnun landbúnaðarins. Reykjavík, febrúar 1997, 157 bls.

3.8.5 Landslag og víðerni

a) Landslag

Skilgreining: Til hliðsjónar var höfð skilgreining Evrópska landslagssáttmálans að landslag sé „svæði sem ber það með sér í skynjun fólks að vera til orðið af náttúrunnar hendi og/eða með mannlegri íhlutun.“ (sjá <http://www.coe.int/t/dg4/cultureheritage/heritage/landscape/VersionsConvention/Islandais.pdf>). Í vinnu hópsins var fyrst og fremst miðað við sjónræna þætti landslags. Ekki voru t.d. tók á að meta hljóð (s.s. fossanið) eða aðra þætti landslagsupplifunar.

Forsendur: Faghópur I lagði til grundvallar að náttúrulegt landslag og menningarlandslag sé mikilvægur hluti lífsgæða og þjóðararfleifðar Íslendinga. Sumt landslag á Íslandi, einkum á miðhálandinu, er mjög óvenjulegt og á sér óvíða hliðstæðu, sumt kannski hvergi. Slíkt landslag hefur hátt gildi vegna fágætis en rannsóknir og sókn ferðamanna inn á t.d. miðhálandið sýna að það hefur jafnframt mikið upplifunargildi.

Gagnagrunnar: Fyrir mat á sjónrænni fjölbreytni, fágæti og flokkun var byggt á rannsóknnum sem unnar voru fyrir rammaáætlun (Þóra Ellen Þórhallsdóttir o.fl. 2010³⁰). Sérstök kynning um nýlegar rannsóknir á íslensku landslagi var haldin fyrir faghópa og verkefnisstjórn (Guðbjörg R. Jóhannsdóttir, Helena Óladóttir, Hlynur Bárðarson, Karen Pálsdóttir og Rut Kristinsdóttir). Fyrir mat á sjónrænu gildi (m.a. fagurfræðilegu) var byggt á yfir 1000 ljósmyndum sem safnað var saman. Af háhitasvæðum var einkum stuðst við myndir frá Íslenska landslagsverkefninu en annars við myndir frá meðlimum faghópsins og fleirum, m.a. ljósmyndir sem safnað hafði verið fyrir hliðstætt mat í 1. áfanga rammaáætlunar. Flestir í hópnum höfðu komið á flesta staðina en á vegum 2. áfanga voru m.a. skipulagðar ferðir um háhitasvæðin á Norðurlandi (Kröflu, Bjarnarflag, Námafjall, Leirhnúk og Þeistareyki) og á Reykjanesskaga og Hengli. Þá var farið í skoðunarferð um Torfajökulssvæðið, og virkjunarstaðir skoðaðir við Hágöngulón, Markarfljót, Hólmsá, Skaftá og í Þjórsá í byggð.

Mat á verðmætum: Svæði fengu háa einkunn ef á þeim var i) fjölbreytt landslag en þar var miðað við litauðgi, mynstur, form og áferð í landi og birtingarmyndir vatns, ii) ef þar voru stór, samfelld og öröskuð svæði með tiltekinni landslagsgerð eða ef iii) landslagið var óvenjulegt og taldist fágætt. Faghópurinn í heild vann saman mat á sjónrænu gildi og var þar m.a. stuðst við aðferðafræði þróaða í Bandaríkjunum³¹.

Mat á áhrifum: Lagt var mat á inngríp mannvirkja (raflínur, pípur, lón, skurðir, stíflur, vegir, borplön og byggingar) sem hefðu áhrif á sjónræna þætti (t.d. varðandi línur, form og mynstur í landi). Þá var litið til þess hvort um var að ræða verðmætar eða sjaldgæfar landslagsgerðir og hversu mikið landslag raskaðist eða var brotið upp.

b) Óbyggð víðerni

Skilgreining: Orðið ósnortin víðerni hefur verið notað almennt um hinar víðáttumiklu óbyggðir á miðhálandi Íslands og stundum einnig um óbyggð svæði með ströndum fram. Hugtakið er nánar

³⁰ Þóra Ellen Þórhallsdóttir, Þorvarður Árnason, Hlynur Bárðarson og Karen Pálsdóttir, 2010. *Íslenskt landslag. Sjónræn einkenni, flokkun og mat á fjölbreytni*. Unnið fyrir Orkustofnun vegna rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Háskóli Íslands. Reykjavík, janúar 2010, 161 bls.

³¹ United States Department of Agriculture, 1995. *Landscape Aesthetics. A Handbook for Scenery Management 1995*. Agriculture Handbook no. 701. The United States Department of Agriculture. The Forest Service.

skilgreint svo í Náttúruverndarlögum: „Ósnortið víðerni: Landsvæði sem er a.m.k. 25 km² að stærð eða þannig að hægt sé að njóta þar einveru og náttúrunnar án truflunar af mannvirkjum eða umferð vélknúinna farartækja á jörðu, er í a.m.k. 5 km fjarlægð frá mannvirkjum og öðrum tæknilegum ummerkjum, svo sem raflinum, orkuverum, miðlunarlónum og þjóðvegum, og þar sem ekki gætir beinna ummerkja mannsins og náttúran fær að þróast án álags af mannlegum umsvifum.“ Samsvarandi hugtök eru t.d. *wilderness* í bandarískum lögum (sbr Wilderness Act frá 1964, sjá: http://www.wilderness.net/NWPS/documents/publiclaws/PDF/16_USC_1131-1136.pdf) og *inngrepsfri natur* (> 1km frá „tyngre tekniske inngrep“) og *villmarkspreged natur* (> 5km frá „tyngre tekniske inngrep“, sjá t.d. <http://www.klif.no/publikasjoner/2523/ta2523.pdf>).

Í orðinu ósnortin víðerni felst að svæðin séu ósnortin af umsvifum mannsins. Eftir orðanna hljóðan gæti íslenska skilgreiningin falið í sér miklu strangari skilgreiningu á víðernum en viðtekið er annars staðar. Í löggjöf annarra landa er fyrst og fremst miðað við sýnileg ummerki um umsvif mannsins, t.d. byggingar, miðlunarlón, flugvelli og raflínur en ekki gerð sú krafa að landið sé raunverulega ósnortið af áhrifum mannsins. Í skilgreiningu náttúruverndalaga koma slík viðmið heldur ekki fram. Það væri líka mjög erfitt, og raunar ekki hægt með núverandi þekkingu að flokka miðhálendi Íslands í náttúrulegar auðnir og land sem blásið hefur upp eftir landnám af mörgum samverkandi ástæðum, meðal annars fyrir óbein áhrif mannsins. Faghópurinn hefur því í vinnu sinni miðað við **óbyggð víðerni** frekar en ósnortin.

Forsendur: Umsvif mannsins hafa nú með beinum eða óbeinum hætti mótað mestallt þurrlendisyrfirborð jarðar. Svæði sem ekki bera sýnileg merki um umsvif mannsins eru því verðmæt vegna fágætis, vegna vísindalegs gildis og vegna þess að þau veita fólki möguleika á að upplifa kyrrð, náttúru og landslag þar sem ummerki mannsins sjást ekki. Í afmörkun víðerna getur verið álitamál hversu stranga skilgreiningu eigi að miða við, einkum hvort telja eigi alla óuppbyggða vegi frágangssök eða hvort fáfarnir og lítt áberandi slóðar sem fylgja landslaginu geti rúmast innan víðerna. Faghópur I ákvað að fylgja ekki mjög strangri skilgreiningu hvað þetta varðar.

Gagnagrunnur: Kort Umhverfisstofnunar og ljósmyndir (sbr. landslagskaflann að ofan).

Verðmætamat: Viðátta víðerna (flatarmál) ræður mestu um verðmæti þeirra. Einnig var litið til þess hvort hliðstæð víðerni (þ.e. með svipað landslag) væru til annars staðar (fágætisgildi). Ekki var gefin einkunn fyrir sjónrænt gildi.

Mat á áhrifum: Há einkunn var gefin ef framkvæmd klýfur eða skerðir verulega stór, samfelld og/eða verðmæt víðerni.

4 Aðferðafræði og niðurstöður faghóps II

4.1 Verkefni og skipan faghópsins

Faghópi II var ætlað að meta áhrif einstakra virkjunarhugmynda á ferðaþjónustu, útivist, landbúnað og hlunnindi.

Viðfangsefni faghópsins var viðtækara en faghóps II í 1. áfanga. Þá voru hagsmunir ferðaþjónustunnar viðföng faghóps III en nú færðust þeir til faghóps II auk fyrri viðfangsefna og því þurfti að taka matsferlið öðrum tókum. Jafnframt var hópnum falið að meta verðmæti þeirra svæða sem áformaðar virkjunarhugmyndir hafa áhrif á, bæði fyrir og eftir virkjunarframkvæmdir.

Faghópurinn skipti viðfangsefni sínu í tvennt: annars vegar ferðaþjónustu og útivist, og hins vegar hlunnindi þar sem sjónum var fyrst og fremst beint að beitarhlunnindum og veiðum í ám og vötnum. Jafnframt var vægi þessara viðfanga ákvarðað út frá gögnum Hagstofunnar um landsframleiðslu þannig að ferðaþjónusta og útivist vógu 82% í endanlegu mati, veiðar í ám og vötnum 10% og beitarhlunnindi 8%. Skortur á rannsóknnum og gögnum um ferðaþjónustu og útivist er mikill og sama á að nokkru leyti við um beitarhlunnindi. Gögn er varða veiðar eru aftur á móti betri. Rannsóknir fyrir verkefni og matsvinnu faghóps II hafa verið mjög takmarkaðar. Þá var sá tímarammi sem verkefninu var settur mjög knappur.

Þrátt fyrir að lagt væri í mikla vinnu við að leita uppi og safna saman tiltækum gögnum var upplýsingagrunnurinn götóttur. Þetta á ekki síst við um útivist og gildi hennar fyrir landsmenn. Enda þótt nokkuð sé til af rannsóknnum og útgefnu efni um íslenska ferðaþjónustu hefur ekki verið um samræmda stefnu í rannsóknnum að ræða og erfitt að nýta gögnin í matsvinnu á borð við rammaáætlun. Faghópurinn leitaði margra leiða til að fylla upp í ”stærstu götin”, m.a. var stuðst við munnlegar heimildir og fanga leitað hjá staðfróðum aðilum, ferðaþjónustufyrirtækjum og samtökum þeirra. Meðal þeirra og innan faghópsins eru einstaklingar sem búa yfir hvað mestri reynslu og þekkingu á þessu sviði.

Formaður hópsins var Anna G. Sverrisdóttir, ráðgjafi, frá Samtökum ferðaþjónustunnar (SAF). Aðrir í hópnum voru Sveinn Runólfsson, náttúrufræðingur og landgræðslustjóri, Anna Dóra Sæþórsdóttir, landfræðingur og dósent í ferðamálafræðum við Háskóla Íslands, Rögnvaldur Ólafsson, forstöðumaður Stofnunar fræðasetra Háskóla Íslands (tók sæti Brynhildar Davíðsdóttur, dósents í umhverfis- og auðlindafræðum hjá Háskóla Íslands, sem dró sig í hlé í mars 2009),

Jóhannes Sveinbjörnsson, bóndi og dósent hjá Landbúnaðarháskóla Íslands,

Ólafur Örn Haraldsson, landfræðingur og forseti Ferðafélags Íslands,

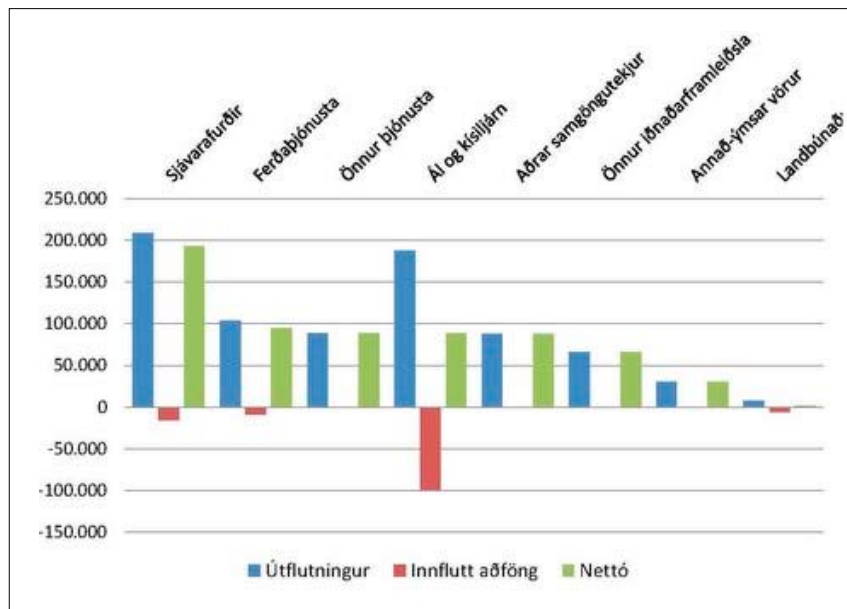
Friðrik Dagur Arnarson, landfræðingur og framhaldsskólakennari (frá 15. ágúst 2009),

Guðni Guðbergsson, fiskifræðingur á Veiðimálastofnun (frá 30. október 2009) og

Einar Torfi Finnsson, landmótunarfræðingur og einn eigenda Íslenskra fjallaleiðsögumanna (frá desember 2009).

4.2 Skilgreiningar og forsendur fyrir mati

Mikilvægi ferðamennsku fyrir íslenskt samfélag hefur vaxið hröðum skrefum og árið 2008 voru gjaldeyristekjur ferðaþjónustunnar 16,9% gjaldeyristekna þjóðarinnar (Seðlabanki Íslands, 2010)³². Mikilvægi greinarinnar fyrir þjóðina er því umtalsvert eins og sjá má af mynd 4.1.



Lóðréttur kvarði er í milljónum króna. Ferðaþjónusta er í fjórðu til sjöttu súlu frá vinstri. Sjávarafurðir námu tæpum 30% af nettóútflutningi vöru og þjónustu (að fráðregnum helstu innfluttu aðföngum), ferðaþjónusta tæpum 15%, önnur þjónusta tæpum 14% og ál og kísiljárn einnig tæpum 14%. Byggt á gögnum frá Hagstofu Íslands.

Mynd 4.1 Útflutningur og helstu aðföng 2009.

Fjöldi starfa í greininni var 8.400 árið 2007. Samkvæmt ferðaþjónustureikningum Hagstofu Íslands (2008)³³ var hlutur ferðaþjónustu í landsframleiðslu að meðaltali 4,6% árin 2000–2006 og námu heildarkaup á ferðaþjónustu innanlands tæplega 135 milljörðum króna, eða sem svarar til 11,5% af landsframleiðslu árið 2006. Með hliðsjón af þessum útreikningum Hagstofunnar leiða Samtök ferðaþjónustunnar að því líkur að heildarneysla vegna ferðaþjónustu fyrir árið 2008 hafi verið 175–185 milljarðar³⁴. Á sama tíma hefur hvers kyns útivist aukist stórlega og er hún orðin snar þáttur í daglegu lífi fjölda fólks. Ferðalög Íslendinga um eigið land hafa því einnig aukist, en níu af hverjum tíu landsmönnum ferðuðust innanlands á árinu 2009.³⁵ Hagsmunir ferðaþjónustunnar og þeirra sem nýta umhverfi sitt til ferðalaga og útivistar eru því miklir og fara vaxandi.

Áhugi ferðamanna á fallvötnum landsins og jarðhitanum hefur alltaf verið mikill. Nægir þar að nefna Gullfoss og Geysi sem dæmi um staði sem lengi hafa vakið aðdáun og áhuga gesta okkar. Nýting jarðhita og fallvatna til húshitunar og rafmagnsframleiðslu er jafnframt eitt af þeim sérkennum sem ferðamenn telja sérstakt við heimsókn til landsins og hafa áhuga á að kynna sér.

Þá er Bláa lónið sem hluti af Auðlindagarðinum í Svartsengi einn alvinsælasti ferðamannastaður

³² Seðlabanki Íslands, 2010. *Hagtölur - Ferðalög milli landa. Tekjur og gjöld*. Skoðað 30. janúar 2010 á <http://www.sedlabanki.is>

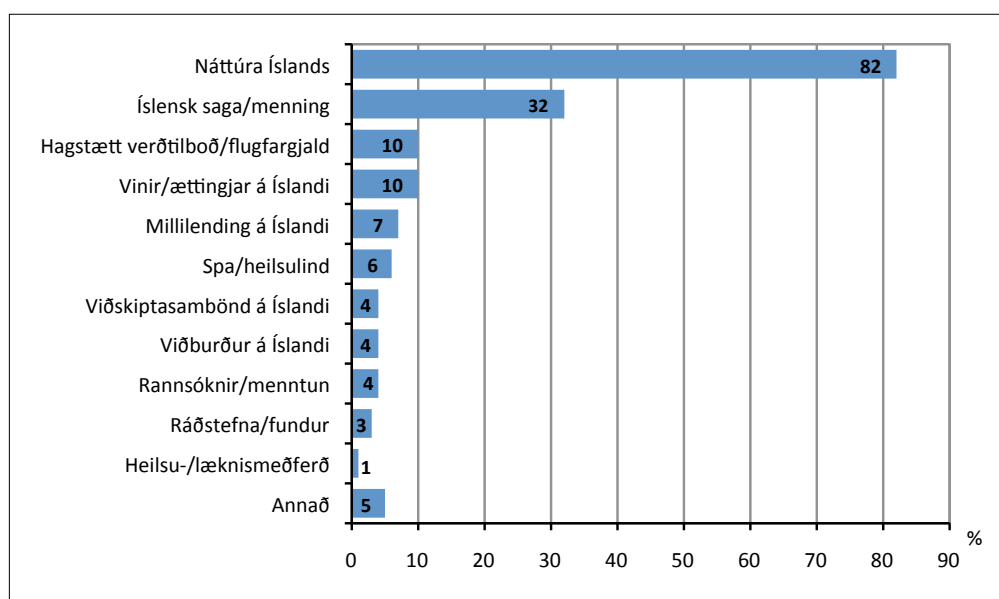
³³ Hagstofa Íslands, 2008. *Hagtiðindi - Ferðamál og samgöngur. Ferðaþjónustureikningar 2000 – 2006*. Reykjavík: Hagstofa Íslands.

³⁴ Samtök ferðaþjónustunnar 2009. *Ferðaþjónusta -Hagtölur*. Skoðað 9. ágúst 2009 á <http://www.saf.is>

³⁵ Ferðamálastofa, 2010. *Ferðaþjónustan á Íslandi í tölum*. Reykjavík: Ferðamálastofa.

landsins og fyrirmyndar dæmi um fjölnýtingu auðlindarinnar.

Íslensk náttúra er helsta aðráttarafl landsins en um 82% erlendra ferðamanna töldu að náttúran hefði haft mest áhrif á þá ákvörðun að heimsækja Ísland sumarið 2010.³⁶ Næst henni er það menning og saga landins sem vekur áhuga erlendra ferðamanna til að heimsækja landið (Sjá mynd 4.2). Styrkur Íslands sem ferðamannalands felst einkum í sérstakri og lítt raskaðri náttúru. Sú ferðamennska sem hér er stunduð er því fyrst og fremst náttúruferðamennska, en hana er hægt að skilgreina á einfaldan hátt sem þá ferðamennsku sem byggir á fjölbreytilegri náttúruupplifun ferðamanna. Dæmi eru t.d. ævintýraferðamennska, visthæf ferðamennska, og menningar- og byggðaferðamennska í náttúrulegu umhverfi (Priskin, 2001)³⁷. Náttúruferðamennska er meira háð gæðum umhverfisins en aðrar tegundir ferðamennsku (Boyd & Butler, 1996)³⁸.



Mynd 4.2 Þættir sem höfðu mikil áhrif á ákvörðun um Íslandsferð sumarið 2010.

Heimild: Rögnvaldur Guðmundsson, 2010.

Aðráttarafl náttúruskoðunarstaða er margs konar. Ferðamenn hafa ólíkar óskir og kröfur til þeirra svæða sem þeir ferðast um eru mismunandi. Því eru náttúruferðamenn ekki einsleitir hópur (Weaver, 1998)³⁹. Sumum ferðamönnum finnast breytingar á náttúruskoðunarstöðum ekki tiltökumál, hvort sem um er að ræða byggingar, vegi eða upplýsingaskilti. Slíkt getur hins vegar spilt upplifun annarra á staðnum, jafnvel það mikið að þeir hætti að koma þangað. Ferðamenn hafa því ólíkar skoðanir á því hvaða aðstaða og uppbygging er æskileg, bæði almennt og á einstökum svæðum, og ljóst er að ekki er mögulegt að gera öllum til hæfis alls staðar. Því er ekki sjálfgeft að það auki aðráttarafl svæðis að bæta aðgengi og byggja upp innviði. Með hliðsjón af þessu hefur við stefnumótunar- og skipulagsvinnu á ferðamanna- og útivistarsvæðum gjarnan verið stuðst við svokallaðan viðhorfskvarða (*the purist scale*) sem skipar ferðamönnum

³⁶ Rögnvaldur Guðmundsson, 2010. *Erlendir ferðamenn á Íslandi sumarið 2010 og samanburður við sumrin á undan*. Rannsóknir og ráðgjöf ferðapjónustunnar ehf. Unnið fyrir Ferðamálastofu, nóvember 2010, 28 bls.

³⁷ Priskin, J., 2001. *Assessment of natural resources for nature-based tourism: - the case of the Central Coast Region of Western Australia*. Tourism Management, 22, bls. 637-648.

³⁸ Boyd, S.W., & Butler, W., 1996. *Managing Ecotourism: An Opportunity Spectrum Approach*. Tourism Management 17, bls. 557-566.

³⁹ Weaver, D. B., 1998. *Ecotourism in the less developed world*. Oxon; New York: CAB International.

í hópana náttúrusinnar (*moderate purists*), almennir ferðamenn (*neutralists*) og þjónustusinnar (*non purists*). Viðhorfskvarðinn er oft notaður með öðru líkani, afþreyingarrófinu (*Recreation Opportunity Spectrum*), þar sem svæðum er skipt í flokka eftir því hversu náttúrulegt eða manngert umhverfi þeirra er (tafla 4.1).

Tafla 4.1 Róf afþreyingarmöguleika.

Víðerni	Að mestu ósnortin svæði, vélvædd umferð ekki leyfð	Að mestu ósnortin svæði, vélvædd umferð leyfð	Aðgengileg náttúrusvæði	Svæði sem einkennast af landbúnaðarlandslagi	Útivistarsvæði í borgum og þéttbýli
---------	--	---	-------------------------	--	-------------------------------------

Heimild: Wallsten, 1988⁴⁰

Virði náttúruskoðunarstaða þykir þeim mun meira sem þeim hefur verið minna raskað og slíkir staðir eru almennt mun meira virði en manngerðir staðir (Anna Dóra Sæþórsdóttir 2006)⁴¹. Aðdráttarafl má skapa með bættri aðstöðu, en náttúruna er ekki hægt að skapa/búa til eftir pöntun, Sá eiginleiki gerir hana enn verðmætari. Með hliðsjón af því sjónarmiði eru víðerni og svæði þar sem náttúrunni hefur ekki verið raskað af mannavöldum mjög eftirsótt af ákveðnum markhópi ferðamanna. Upplifun á víðernum er almennt talin fela í sér útiveru í frumstæðu og óröskuðu umhverfi þar sem fáir aðrir eru (Cole & Hall, 2008)⁴².



Ferðalög tengja saman þrenns konar svæði (mynd 4.3), áfangastað (*tourist destination region, TDR*), heimabyggð ferðamanna (*traveller-generating region*) og ferðaleiðir (*transit region*), þ.e. leiðir sem ferðast er eftir til þess að komast á milli áfangastaðar og heimabyggðar (Leiper, 1990)⁴³.

Mynd 4.3

Áfangastaðir sem oft kallast líka ferðamannastaðir eru ólíkir að gerð og eiginleikum. Þeir einkennast af efnislegum eiginleikum sínum, sögu sinni, íbúunum, þeim gestum sem heimsækja þá og þeim stjórnvaldslegu ákvörðunum sem hafa verið teknar um nýtingu þeirra (Saarinen, 2004)⁴⁴. Oft er talað um að ferðamannastaðir séu samsettir úr fimm þáttum (*destination mix*) en þeir eru: aðdráttaraflið (*tourist attraction*), aðstaða (*facilities*), innviðir (*infrastructure*), samgöngur (*transportation*) og gestrisni (*hospitality resources*). Ferðamannastaðir eru sambland af þessum þáttum og blandan er breytileg eftir menningu, efnahag og umhverfi hvers staðar. Með hliðsjón af breytileika „blöndunnar“ verða til mismunandi ferðamannastaðir (Mill & Morrison, 1998)⁴⁵.

⁴⁰ Wallsten, P., 1988. *Rekreation i Rogen : tillämpning av en planeringsmetod för friluftsliv*. Trondheim: Komitéen for miljøvern - KOMMIT, Universitetet i Trondheim.

⁴¹ Anna Dóra Sæþórsdóttir 2006. *Skipulag náttúruferðamennsku með hliðsjón af viðhorfum ferðamanna*. Landabréfið 22(1), bls. 3-20.

⁴² Cole, D. N., & Hall, T. E. 2008. *Wilderness Visitors, Experiences, and Management Preferences: How They Vary With Use Level and Length of Stay* (Research Paper RMRS-RP-71), 61 bls.

⁴³ Leiper, N. 1990. *Tourism systems : an interdisciplinary perspective*. Palmerston North, NZ: Massey University.

⁴⁴ Saarinen, J., 2004. 'Destinations in change': *The transformation process of tourist destinations*. *Tourist Studies*, 4(2), 161.

⁴⁵ Mill, R., & Morrison, A. 1998. *The Tourism System*: Kendall/Hunt Publishing Company.

Þær virkjunarframkvæmdir sem eru til skoðunar í 2. áfanga rammaáætlunar eru flestar í náttúrulegu umhverfi sem að stórum hluta hefur verið lítið sem ekkert raskað með mannvirkjum. Þar sem ekki hefur verið unnin landnýtingaráætlun fyrir ferðamennsku hér á landi liggur ekki fyrir opinber stefna um hvernig á að nýta landið fyrir ferðamennsku, þ.e. hvar á að stunda mismunandi tegund ferðamennsku og til hvaða markhópa á að höfða á hverju svæði. Því var unnið út frá því viðmiði að láta núverandi stöðu marka stefnuna, þ.e. þar sem náttúrusinnar eru megin notendahópurinn er gert ráð fyrir að framkvæmdir hafi mikil áhrif á upplifun, en þar sem þjónustusinnar eru yfirgnæfandi hafi framkvæmdirnar minni áhrif.

Skilgreining svæða

Ferðasvæði:

Landinu var skipt í ferðasvæði sem er sú grunneining sem faghópurinn gekk út frá við mat á virði svæða fyrir ferðamennsku og útivist (sjá kort 4.1). Við það var einkum tekið tillit til sameiginlegra eiginleika þeirrar ferðamennsku sem stunduð er á svæðinu, auk þess sem horft var til eðlisrænna eiginleika landsins. Þannig er t.d. ferðasvæðið Askja og ferðasvæðið Ódáðahraun sitt hvort ferðasvæðið. Ferðamennska í Öskju einkennist að hluta til af hópferðamennsku, töluverðum fjölda og þeirri þjónustu sem því fylgir, en í Ódáðahrauni eru ferðamenn einkum einstaklingar í jeppaferðum eða fólk í gönguferðum. Þessar forsendur gefa þokkalega einsleit svæði. Við afmörkun ferðasvæða er t.d. miðað við fjallsbrúnir (dæmi: Brennisteinsfjöll), árfarvegi (dæmi: mörk Kverkfjalla og Arnardals), ferðaleiðir eða vegi (dæmi: Skálafell og Reykjanestá). Virði hvers ferðasvæðis fyrir ferðamennsku og útivist var metið sem og áhrif virkjunarframkvæmda á það virði, þ.e. afleiðingar framkvæmdanna voru metnar.

Framkvæmdasvæði virkjunar:

Framkvæmdasvæðið var skilgreint sem sjálft virkjunarsvæðið með tilheyrandi mannvirkjum, t.d. byggingum, lónum, stíflum, skurðum, borpöllum og pípum, sem og svæði sem háspennulínur og vegir framkvæmdanna liggja um. Mannvirkin sjást oft langt að á hálendinu, einkum raflínur. Framkvæmdasvæðið getur því orðið víðfeðmt þar sem þarf að leggja raflínur langar leiðir til að tengjast núverandi dreifikerfi raforku. Þetta á t.d. við um jarðgufuvirkjanir í Kerlingarfjöllum og á Torfajökulssvæðinu og vatnsaflsvirkjun í Jökulfalli við Gýgjarfoss, en vegna raflínanna ná framkvæmdirnar yfir fleiri en eitt ferðasvæði. Faghópur IV lagði til kort sem sýna raflínur sem teiknaðar eru stystu leið frá mögulegu stöðvarhúsi að næsta tengivirki. Faghópur II byggði mat sitt á þeim gögnum.

Áhrifasvæði virkjunar:

Auk framkvæmdasvæðisins geta önnur svæði sem tengjast framkvæmdasvæðinu orðið fyrir áhrifum virkjunar. Þetta á við þar sem beinna áhrifa framkvæmdanna gætir, t.d. þar sem breytingar verða á rennsli fljóta. Áhrifin geta líka komið gegnum samgöngukerfi eða ferðamáta ferðamanna.

Áhrifasvæði virkjunar fyrir ferðamennsku og útivist er því að jafnaði mun umfangsmeira en framkvæmdasvæðið og getur náð yfir fleiri en eitt ferðasvæði. Dæmi: Bláfellsvirkjun á Kili, þar sem Hvítá yrði virkjuð með lóni í Hvítárvatni, hefur áhrif á alla þá sem fara um Kjalveg (þ.e. ferðasvæðin; Hagavatn, Hrunamannafrétt, Hveravelli, Kerlingarfjöll) því að allir sem fara á þessi ferðasvæði verða að fara í gegnum framkvæmdasvæði virkjunarinnar. Áhrifasvæði Bláfellsvirkjunar er því allur Kjölur frá Bláfellshálsi norður á Auðkúluheiði. Annað dæmi má

nefna, Arnardalsvirkjun þar sem Jökulsá á Fjöllum er virkjuð við Arnardal. Sú framkvæmd breytir rennsli í Jökulsá á Fjöllum allt frá Krepputungu og norður til sjávar. Áhrifasvæði virkjunarinnar nær því frá Krepputungu niður eftir allri ánni og m.a. verða Dettifoss og Hljóðaklettur fyrir áhrifum. Virkjunin hefur þar með áhrif á ferðasvæðin Kverkfjöll, Arnardal og Jökulsárgljúfur.

Það getur verið erfitt að afmarka áhrifasvæði og stundum gæti það verið allt landið. Vegna þröngs tímaramma þessa verkefnis var ekki unnt að skipta öllu landinu upp í ferðasvæði og leggja mat á virði þeirra allra þótt það hefði gefið bestu og réttustu niðurstöðuna. Þess í stað var látið nægja að skoða einungis þau svæði sem yrðu fyrir greinilegustu áhrifunum. Einstök svæði t.d. Geysir og Gullfoss líða töluvert fyrir þessa nálgun og hefði það talist svæðunum til tekna að skilgreina ferðasvæðin og áhrifasvæðin mun stærri en hér var gert, t.d. allur Gullni hringurinn (þ.e. Þingvelli, Laugarvatn og Skálholt auk Gullfoss og Geysis).

4.3 Aðferðafræði

Tafla 4.2 sýnir meginviðföng og undirviðföng sem skilgreind voru og vægi þeirra.

Tafla 4.2 Viðföng og vægi þeirra.

Meginviðföng	Vægi í lokaéinkunn %	Undirviðföng	Vægi undirviðfanga
Ferðaþjónusta og útivist	82	Upplifun	0,5
		Afþreyingarmöguleikar	0,1
		Innviðir	0,1
		Notkun	0,2
		Framtíðarvirði	0,1
Veiðar í ám og vötnum	10		
Beitarhlunnindi	8		

Aðferðafræði hlunnindamats fylgdi líkum línunum og raunin hafði verið í 1. áfanga. Aftur á móti þurfti mat á ferðaþjónustu og útivist algerlega nýja nálgun. Sérfræðingar hópsins á þessu sviði tóku að sér að þróa frá grunni matsaðferð þar sem með skipulögðum og samræmdum hætti má leggja mat á ólík svæði með hagsmuni ferðaþjónustu og útivistar í forgrunni. Má segja að með þessari vinnu hafi verið lagður nýr grunnur að faglegu mati á landnýtingu með hagsmuni ferðamanna á Íslandi að leiðarljósi.

4.3.1 Ferðamennska og útivist

Þar sem faghópum 2. áfanga rammaáætlunar var ætlað að leggja bæði mat á verndun og nýtingu mögulegra virkjunarsvæða gekk vinnuaðferð hópsins út á að leggja í upphafi mat á núvirði ferðasvæða fyrir ferðamennsku og útivist. Að því loknu var lagt mat á hvernig virðið myndi breytast kæmi til virkjunar og út frá því var lagt mat á heildarafleiðingar hverrar

virðjunarhugmyndar. Með hliðsjón af þessum tölulegum gögnum voru dregnar ályktanir um innbyrðis röðun virðjunarmöguleikanna. Þær niðurstöður voru síðan vegnar saman við niðurstöður úr mati á hlunnindum og veiðum og sú niðurstaða höfð til hliðsjónar við lokaröðun virðjunarmöguleikanna með AHP-þrepagreiningu.

Mjög takmarkaðar rannsóknir hafa verið gerðar á ferðamennsku og útivist á þeim svæðum sem til skoðunar eru í 2. áfanga rammaáætlunar. Engar þeirra snúa beint að skilgreindu verkefni faghópsins. Þessi staða setti vinnu faghópsins vissar skorður og vinnan byggist því meira en ella á mati þeirra sérfræðinga sem í faghópunum störfuðu og annarra sérfræðinga sem leitað var til.

Mat á virði ferðasvæða

Til að meta virði svæða fyrir ferðamennsku og útivist voru skilgreind undirviðföng (Mill & Morrison, 1998)⁴⁶ og viðmið fyrir hvert svæði sem sýnd eru í töflu 4.3. Lagt var mat á verðmæti hvers undirviðfangs á einkunnaskalanum 0, 1, 3, 6, 10 þar sem 10 vísar til mestu verðmætanna. Vægi undirviðfanga sem vísa til framtíðar var hátt, alls 0,7 (*upplifun* 0,5, *afþreyingarmöguleikar* 0,1 og *framtíðarvirði* 0,1) en undirviðföng sem lýsa núverandi stöðu vógu minna, alls 0,3 (*innviðir* 0,1 og *notkun* 0,2). Þessi hlutfallsskipting endurspeglar hversu ung atvinnugrein ferðaþjónustan er hér á landi og hve innviðir og uppbygging eru víða takmörkuð og litlar fjárfestingar að baki. Hér að neðan er gerð nánari grein fyrir undirviðföngunum.

Undirviðföng og viðmið þeirra

Upplifun

Upplifun ferðamanna og útivistarfólks vegur 0,5 í einkunn virðismatsins. Hún er talin langveigamest þegar ferðamenn velja sér áfangastað (Crouch & Ritchie, 1999; Ferrario, 1979)⁴⁷. *Upplifunin* er greind í þrjá þætti: *Eðliræna eiginleika A*, *Eðliræna eiginleika B* og *Hughrif*.

Í *Eðlirænum eiginleikum A* er lagt er mat á almenna eiginleika sem gilda á öllum svæðum. Þar eru fjögur viðmið sem eru öll metin jafnt og tekið meðaltal af einkunnum þeirra:

- *Hversu náttúrulegt / manngert er umhverfið? Hæsta einkunn er gefin fyrir víðerni. Í alþjóðlegu samhengi eru svæði með náttúrulegu og ósnertu yfirbragði eitt af því mikilvægasta í upplifun ferðamanna (Selvig, 1992)⁴⁸. Þegar ferðamenn eru spurðir hvað þeim líki best við hálendið er ósnortin náttúra ofarlega á blaði (Anna Dóra Sæþórsdóttir, 2009)⁴⁹. Svæði sem flokkast sem „ósnortin víðerni“ þ.e. svæði þar sem engin mannvirki önnur en fjallvegir og skálar eru sjáanleg fá 10 í einkunn hjá faghópnum, t.d. Askja og Markarfljót.*
- *Hversu heildstætt (viðáttumikið) er ferðasvæðið? Stór og samfelld einsleit svæði skapa viss hughrif. Þetta á t.d. við um hraunbreiður og svarta sanda sem eru einkennandi fyrir Ísland en sjaldgæf annars staðar. Svæði sem mynda stórar samfelldar heildir fá 10, t.d.*

⁴⁶ Mill, R., & Morrison, A. 1998. *The Tourism System*: Kendall/Hunt Publishing Company.

⁴⁷ Crouch, G. I., & Ritchie, J. R. B. 1999. *Tourism, Competitiveness, and Societal Prosperity*. Journal of Business Research, 44(3), 137-152.

Ferrario, F. F. 1979. *The Evaluation of Tourist Resources: an Applied Methodology*. Journal of Travel Research, 17(3), 18-22.

⁴⁸ Selvig E., 1992. *Verdien av vassdragsnatur i internasjonal sammenheng*. Vedleggsdel med fagrapporter (red.) E. Selvig. *Rapportserie fra Senter for miljø og utvikling*, Universitetet i Oslo, Serie A/Nr. 1/92 Miljøstudier.

⁴⁹ Anna Dóra Sæþórsdóttir, 2009. *Kafað ofan í kjölinn – á viðhorfum ferðamanna á Kili*. Land- og ferðamálafræðistofa Háskóla Íslands, 81. bls.

- Ódáðahraun. Lítil ferðasvæði eins og t.d. Reykjanestá fá einkunnina 1.*
- *Landslag. Almennt er áhugaverðara fyrir ferðamenn að ferðast um landsvæði þar sem landslag er fjölbreytilegt og stórbrotið. Við mat faghópsins á þessu viðmiði var lagt mat á landslag sem sést af ferðasvæðinu sem um ræðir. Tilkomumikið landslag fær einkunnina 10, t.d. Torfajökull.*
 - *Einstæð, fágæt landssvæði eru almennt áhugaverðari en þau sem eru algeng og hafa þar með meira aðdráttarafl. Einkunnina 10 fær t.d. Geysir.*

Tafla 4.3 Undirviðföng og viðmið fyrir mat á verðmæti ferðasvæða fyrir ferðamennsku og útivist.

Undirviðföng	Þættir	Vogtölur		Viðmið
Upplifun		0,5		
	Eðlirænir eiginleikar A	0,2	0,05	Viðerni - náttúrulegt - manngert umhverfi
			0,05	Stærð, heild
			0,05	Einstætt-fágætt-algengt á landsvísu
			0,05	Landslag
	Eðlirænir eiginleikar B	0,1		Hverasvæði, jarðhiti, laugar
				Ummerki um eldvirkni, gígar, hraun
				Litir
				Gróðurfar
				Dýralíf
				Fjölbreytileiki, einsleitni
				Fjöll, jöklar
				Vatn, ár, fossar
				Gil, gljúfur, gjár
				Er svæðið á náttúruminjaskrá?
	Hughrif	0,2	0,05	Fegurð
			0,05	Stórbrotið
			0,05	Þolmörk ferðamanna
			0,05	Lotning, helgidómur, ímynd
Afpreyingarmöguleikar		0,1		Áhorf
				Gönguferðir
				Hestaferðir
				Veiðar
				Berja-, sveppa-, fjallagrasatínsla
				Villiböð, baðlaugar
				Bátaferðir
				Hjólreiðar
				Jökla-, snjóferðir
				Torfærufurðir
				Bíltúr á fólksbíl
				Arfleið, saga
				Gestastofur
Innviðir		0,1		
	Aðgengi	0,05		Innviðir fyrir ferðamenn
				Fólksbílavegur
				Jeppaleið
	Gisting	0,05		Gisting á svæðinu
				Gisting í nágrenninu
Notkun		0,2		
	Notendur	0,10		Fjöldi ferðamanna
				Ferðapjónusta
	Notkunarmynstur	0,09		Fjarlægð frá markaði
				Ferðamynstur
	Ferðahegðun	0,01		Dvalarlengd
				Tíðni endurkomu
Framtíðarvirði		0,1		Framtíðarvirði

Í *Eðlirænum eiginleikum B* er lagt mat á einstök náttúruferðir. Í vinnu rammaáætlunar eru bornar saman jarðvarmavirkjanir og vatnsaflsvirkjanir. Af því leiðir að svæðin sem um ræðir eru mjög ólík og mismunandi þættir ráða gildi þeirra fyrir ferðamennsku. Til að geta borið svæðin saman og notað sömu reikniðferðir fyrir öll þau svæði sem voru til skoðunar, var búinn til listi yfir öll þau viðmið sem skipta máli hjá báðum tegundum svæða, en síðan var aðeins hluti þeirra reiknaður inn í meðaltal á hverju svæði. Nokkrar hæstu einkunnirnar voru teknar inn í meðaltalið en hinum sleppt. Sem dæmi má taka að á jarðhitasvæðum skiptu viðmiðin: *Hverasvæði, jarðhiti, laugar* og *Litir* mestu máli fyrir virði svæðanna og jarðhitasvæði fengu að jafnaði hæst fyrir þau viðmið. Svæði vatnsafls fengu hins vegar almennt hæst fyrir viðmiðin: *Vatn, ár, fossar* og *Gil, gljúfur, gjár*, en sjaldnast *Hverasvæði, jarðhiti, laugar*. Með því að taka hæstu einkunnir dró það ekki niður virði jarðhitasvæðis að þar eru ekki fossar, né virði vatnsaflsvæðis að þar eru ekki hverir og laugar. Á þennan hátt voru dregnir fram þeir eiginleikar sem skipta máli á hverju svæði, en þau atriði sem ekki áttu þar við drógu svæðið ekki niður. Af þeim tíu viðmiðum sem notuð voru í þættinum *Eðliræni eiginleikar B* var tekið meðaltal af þremur hæstu einkunnum og það notað sem einkunn fyrir þáttinn. Ef inni á svæðinu er svæði sem er á *náttúruminjaskrá* fékk ferðasvæðið einkunnina 10, ef um þjóðgarð var að ræða, en 6 þar sem voru fólkvangar eða önnur friðlýst svæði. Þetta var gert vegna þess að vernduð svæði hafa ákveðið aðdráttarafl fyrir ferðamenn og ýmsar rannsóknir hafa sýnt að þjóðgarðar vega þar þyngst (McCool o.fl., 2007, Fredman o.fl., 2007, Frost o.fl., 2009)⁵⁰.

Í *Hughrifum* voru metin óhlutbundin verðmæti sem felast í hughrifum og stuðst við fjögur viðmið. Lagt var mat á hversu *falleg* og *stórbrotin* svæði eru. Einnig hvort *þolmörkum þeirra ferðamanna* sem þangað koma sé náð, þ.e. hvort þeim ferðamönnum sem þangað koma finnist of margir ferðamenn á svæðinu. *Lotning, helgidómur*, og *ímynd* skipta miklu máli sem aðdráttarafl ferðamannastaðar þegar þau eiga við. Einkunn fyrir þetta viðmið var aðeins gefin á stöðum sem vekja ótvírætt þessa tilfinningu og þá einkunnirnar 6 og 10. Dæmi: Hekla fær einkunnina 10 fyrir að vekja lotningu og vera mikilvægt tákn í ímynd Íslands. Heildareinkunn fyrir hughrif var reiknuð sem meðaltal þriggja hæstu einkunna af þeim fjórum viðmiðum sem einkunn fengu.

Afþreyingarmöguleikar

Afþreyingarmöguleikar eru margvíslegir og mjög háðir staðhátum. Lagt var mat á helstu tegundir afþreyingar sem hægt er að stunda á landinu (13 viðmið, sjá töflu 4.3). Þar sem óeðlilegt er að þau séu öll fyrir hendi á hverju svæði, voru aðeins þau sex sem hlutu hæsta einkunn á hverju svæði tekin með í meðaltalið. Þar sem ferðaþjónusta er tiltölulega ung atvinnugrein hér á landi eru mörg tækifæri enn ónýtt og því var lagt mat á möguleika en ekki núverandi stöðu.

⁵⁰ McCool, S.F., Clark, R.N. & Stankey, G.H. 2007. *An assessment of framework useful for public land recreation planning* (Gen. Tech Rep. PNW-GTR-705). Portland, Fredman, P., Friberg, L.H., & Emmelin, L. 2007. *Increased visitation from national park designation*. Current Issues in Tourism, 10(1), bls. 87–95. Frost, W., & Hall, C.M. (Eds.). 2009. *Tourism and national parks: International perspectives on development, histories and change*. London: Routledge.

Innviðir

Innviðir skiptast í tvo þætti, annars vegar *aðgengi* og hins vegar *gistingu* og vega þeir jafnt. *Aðgengi* hefur þrjú viðmið og voru þau tvö sem hæsta einkunn fengu notuð í útreikning matsins. Fólksbílavegur eða jeppaleið eru mikilvæg til að gera svæði aðgengileg fyrir ferðafólk en ekki hvort tveggja í senn. Eftir á að hyggja hefði verið betra að taka alltaf inn í útreikningana viðmiðið *innviði fyrir ferðamenn* og hærri einkunnina af gerð veganna.

- *Fólksbílavegur. Lagt var mat á hversu auðvelt er nú að komast að og fara um svæðið á fólksbíl. Í Mývatnssveit og við Gullfoss og Geysi eru mjög góðir vegir og fá þau svæði 10. Um Sprengisand er hins vegar illfært á fólksbíl og fær hann því 1 í einkunn.*
- *Jeppaleið. Á sama hátt var lagt mat á hversu auðvelt er að komast um svæðið á jeppa. Ef leiðin er greiðfær fyrir óbreytta jeppa fékk svæðið 10 í einkunn eins og t.d. Sprengisandur. Ef leiðin er hins vegar óljós og mjög illfær, og jafnvel spurning hvort ökutæki eigi að fara um hana, fékk svæðið 1 í einkunn, eins og t.d. Vonarskarð. Taka skal fram að í þessu viðmiði var ekki lagt mat á hversu skemmtileg og krefjandi jeppaleiðin er því það er metið í undirviðfanginu afþreying í viðmiðinu torfærufærir.*
- *Innviðir fyrir ferðamenn. Svæði þar sem eru vatnssalerni, merkingar og góðir göngu- eða reiðstígar fengu 10 í einkunn eins og t.d. Jökulsárgljúfur. Svæði þar sem einungis er kamar og/eða einfaldar merkingar fengu 1 í einkunn, t.d. Gjástykki.*

Gisting. Metið var hvort sú gisting sem í boði er hentar þeim markhópi sem kemur á svæðið og annar með eðlilegum hætti fjöldanum sem þangað sækir. Gefið var fyrir gistiaðstöðu, annars vegar á ferðasvæðinu og hins vegar í nágrenninu en aðeins hærri einkunnin tekin með í heildarmatið. Ástæðan fyrir því er m.a. sú að ekki er alls staðar æskilegt að hafa gistingu, t.d. ekki á ósnortnum viðernum. Ferðamönnum finnast slík svæði ekki batna heldur versna rísi þar hótél (Anna Dóra Sæþórsdóttir, 2009)⁵¹. Þetta er í samræmi við þá stefnu sem birtist í greinargerð um svæðisskipulag Miðhálandisins⁵².

- *Gisting á svæðinu. Dæmi um svæði sem fengu 10 í einkunn eru svæðið í kringum Þjórsá og Álfavatn að Fjallabaki.*
- *Gisting í nágrenninu. Miðað var við að ekki sé meira en ákveðinn aksturstími í fjölbreytta gistingu. Þar sem góð gisting er í innan við 30 mín. akstursfjarlægð frá ferðasvæðinu fékk svæðið 10 í einkunn, t.d. Markarfljót. Svæði sem eru meira en í 2 klst. akstursfjarlægð frá ferðasvæðinu fengu hins vegar 1 í einkunn, t.d. Kverkfjöll.*

Notkun

Hér er verið að leita eftir mælikvarða á aðdráttarafli svæðisins fyrir núverandi markhópa ferðamanna og útivistarfólks. Þættir þessa undirviðfangs eru þrír: *notendur*, *notkunarmynstur* og *ferðahegðun*. Hver þeirra hefur tvö viðmið.

Notendur hafa tvö viðmið sem skipta bæði máli og því voru bæði tekin með í útreikninga

- *Fjöldi ferðamanna. Svæði þar sem mjög margir ferðamenn koma, þ.e. fleiri en 10.000 á ári, fengu einkunnina 10, t.d. Landmannalaugar og Mývatn. Staðir þar sem fáir koma*

⁵¹ Anna Dóra Sæþórsdóttir, 2009. *Kafað ofan í kjölinn – á viðhorfum ferðamanna á Kili*. Land- og ferðamálafræðistofa Háskóla Íslands, 81. bls.

⁵² Samvinnunefnd um svæðisskipulag Miðhálandis Íslands, 1998. *Miðhálandi Íslands. Svæðisskipulag 2015*. Greinargerð, nóvember 1998, 58 bls + kort.

fengu einkunnina 1, t.d. Brennisteinsfjöll.

- *Ferðaþjónusta. Metið var hversu mikilvæg svæði eru fyrir fyrirtæki í ferðaþjónustu. Mjög mikilvæg svæði fengu 10, t.d. Gullfoss og Landmannalaugar. Svæði sem eru lítið nýtt fá 1, t.d. Gjástykki.*

Notkunarmynstur hefur viðmiðin fjarlægð frá markaði og ferðamynstur. Bæði skipta máli og voru því bæði tekin með í útreikninga.

- *Fjarlægð frá markaði. Markaður var skilgreindur sem staður þar sem margir búa eða þar sem margir ferðamenn koma. Svæði sem eru mjög nálægt stórum markaði fengu 10, t.d. Reykjanestá. Svæði sem eru langt frá stórum markaði fengu 1, t.d. Hágöngur.*
- *Ferðamynstur. Svæði þar sem margar ferðaleiðir liggja um og eru hluti af ferðamynstri fólks fengu einkunnina 10, t.d. Álftavatn að Fjallabaki. Svæði þar sem ferðaleið er mjög fáfarin eða er endastöð fyrir flesta, fékk einkunnina 1, t.d. Kverkfjöll.*

Ferðahegðun. Svæði hafa mikið gildi fyrir ferðaþjónustu ef ferðamenn koma þangað oft eða dvelja lengi. Ekki er ástæða til að krefjast þess að ferðamenn komi bæði oft (t.d. vinsæl útivistarsvæði) og dvelji lengi (t.d. vinsælir ferðamannastaðir), annað dugar til að svæði hafi mikið gildi og er því aðeins tekin einkunn þess viðmiðs sem fær hærri einkunn.

- *Dvalarlengd. Metið var hversu lengi ferðamenn dvelja að meðaltali á svæðinu. Svæði þar sem flestir gista a.m.k. eina nótt fengu 10 í einkunn, t.d. Þórsmörk. Svæði þar sem dvalið er styttra en $\frac{1}{2}$ dag fengu 1 í einkunn, t.d. Gullfoss.*
- *Tíðni endurkomu. Svæði þar sem sömu ferðamennirnir/útivistariðkendurnir koma oft eða hafa mikinn áhuga á að koma aftur á, fékk 10 í einkunn, t.d. Hengill, en þar sem menn koma mjög sjaldan var gefin einkunnin 1, t.d. Hekla.*

Framtíðarvirði

Svæði sem er mjög mikils virði til framtíðar og/eða hefur mjög mikla möguleika til frekari nýtingar til ferðamennsku og útivistar fékk 10 í einkunn, t.d. Torfajökull. Þeir staðir sem þykja síður áhugaverðir og ekki er fyrirsjáanlegt að nýttir verði til útivistar eða ferðaþjónustu í nánustu framtíð fengu einkunnina 1.

Lokaeinkunn fyrir hvert ferðasvæði var reiknuð sem vegið meðaltal einkunna undirviðfanganna samkvæmt vogtölum í töflu 4.3.

Mat á áhrifum virkjana

Við mat á áhrifum virkjana var stuðst við sömu aðferðafræði og í virðismatinu nema nú var lagt mat á virði hvers undirviðfangs ef búið væri að virkja. Mismunurinn á virði svæða fyrir og eftir framkvæmdir gefur til kynna hversu miklar afleiðingarnar yrðu. Matið byggir á lýsingum á virkjunarhugmyndum að svo miklu leyti sem þær liggja fyrir. Þar skortir þó oft talsvert á, t.d. hvað varðar vegi, raflínur og önnur mannvirki, útlit þeirra og nákvæma staðsetningu. Þá gekk hópurinn út frá þeirri forsendu að inngrip í ósnortin svæði væri alvarlegri röskun en framkvæmdir á svæðum sem þegar hefur verið byggt á eða það nýtt á annan hátt. Dæmi: Svæðið Torfajökull fékk 10 í einkunn fyrir viðmiðið *viðerni-náttúrulegt-manngert umhverfi*. Við virkjun fer virði viðmiðsins niður í 1. Afleiðingarnar eru að jafnaði mestar á þeim ferðasvæðum sem framkvæmdirnar myndu hafa bein áhrif á, en mun minni á öðrum áhrifasvæðum virkjunarinnar. Álftavatn er aðliggjandi svæði við Torfajökul og lækkar viðmiðið líka þar en minna, úr 10 í 3.

Við röðun virkjunarhugmynda var annars vegar stuðst við mat á virði þeirra ferðasvæða sem eru á áhrifasvæði virkjunarinnar og hins vegar við mat á áhrifunum virkjunarinnar á þau ferðasvæði. Þetta var gert með því að margfalda saman á hverju ferðasvæði virðismat viðkomandi ferðasvæðis og áhrifin sem virkjunarhugmyndin hefur á það ferðasvæði. Heildaráhrif virkjunarinnar eru síðan metin sem summa af þessum margfeldum og kölluð *afleiðingastuðull*.

Dæmi: Hagavatnsvirkjun. Áhrifasvæði hennar nær yfir ferðasvæðin Hagavatn, Hveravelli, Hrunamannafrétt og Gullfoss. Röðun virkjunarhugmyndarinnar byggist á eftirfarandi:

Hagavatn: virði 7,38, virði eftir virkjun 3,28. Afleiðingar eru því 4,10. Margfeldi þessa er: $7,38 \cdot 4,10 = 30,26$
Virkjunin hefur líka áhrif á:

Hveravelli: virði 9,58, virði eftir virkjun 8,60. Afleiðingar eru 0,98. Margfeldi þessa er: $9,58 \cdot 0,98 = 9,39$

Hrunamannafrétt: virði 5,85, virði eftir virkjun 5,61. Afleiðingar eru 0,24. Margfeldi þessa er: $5,85 \cdot 0,24 = 1,40$

Gullfoss: virði 9,18, virði eftir virkjun 8,33. Afleiðingar eru 0,85. Margfeldi þessa er: $9,18 \cdot 0,85 = 7,80$

Afleiðingastuðullinn (heildarafleiðingarnar) er því: $30,26 + 9,39 + 1,40 + 7,80 = 48,85$ og er hann notaður til að raða virkjunarhugmyndinni í mikilvægisröð fyrir ferðamennsku og útivist, þar sem hæsta talan endurspeglar mesta skaðann.

Ef tími hefði leyft hefði meiri vinna verið lögð í að meta mikilvægi smærri lítt snortinna svæða í nágrenni við stóra markaði. Hópurinn gerir sér grein fyrir að hætta er á að minna hafi verið gert úr mikilvægi þessara svæða en efni standa til.

4.3.2 Veðiðhlunnindi

Mat á virði veðiðhlunninda og áhrifum á þau frá virkjunarhugmyndum sem til umfjöllunar eru í 2. áfanga rammaáætlunar var umfangsmikið og flókið viðfangsefni enda um mörg svæði að ræða. Það sem ekki síst hamlaði þeirri vinnu var að útlistun á virkjunaráformum, útfærslu, rekstri og mótvægisáðgerðum var af mjög skornum skammti í allmörgum tilfellum. Mörg af áformunum voru eingöngu á hugmyndastigi og önnur byggðu á gömlum hugmyndum sem vart geta talist raunhæfar lengur. Óvissa um hvernig viðkomandi virkjanir verða í raun, og um þau áhrif sem þær valda, bættist því við það sem fyrir lá að meta.

Almennt má segja að vatnsaflsvirkjanir hafi mest áhrif á lífverur í vatni og búsvæði þeirra enda er inngripið hvað mest í þá vist. Því geta rekstur, útfærsla og mótvægisáðgerðir skipt miklu máli. Áhrif jarðvarmavirkjana á lífríki í vatni og veðiðhlunnindi eru minna þekkt en geta þó verið umtalsverð, t.d. vegna frárennslis í ár og vötn á byggingar- og vinnslutíma. Inngrip í vistfræði vatns vill stundum verða útundan í umræðu um áhrif framkvæmda þar sem önnur og sýnilegri atriði verða oft fyrirferðarmeiri í umræðu um áhrif. Þegar um veðiðhlunnindi er að ræða gildir oft öðru máli enda þau yfirleitt sýnileg. Hér á landi er þekking á verðmætum veiðinýtingar sem hlunninda almennt talin nokkuð góð en tíðkast hefur að meta verðmæti veiða út frá veiði- og aflavon einstakra svæða sem þá oftast er til skráð. Úttektir liggja fyrir um ástundun veiða en um þriðjungur Íslendinga á aldrinum 18-69 ára stundar stangveiði. Einnig liggur fyrir mat á verðmætum veiði bæði til veiðiréttarhafa og mat á heildarverðmætum veðiðhlunninda.

Við mat á virði og áhrifum veðiðhlunninda var í báðum tilfellum notast við einkunnaskala. Við virðismat voru einkunnir 0, 1, 3, 6, og 10 en fyrir áhrifamat -10, -6, -3, -1, 0, 1, 3, 6, og 10. Leitast

var við að nota skalann yfir alla þá staði sem metnir voru. Slíkt getur verið nokkuð erfitt viðfangs þegar umfang, stærð og áhrif eru mjög mismikil en mat á áhrifum takmarkast af því svigrúmi sem skalinn leyfir. Í þeim tilfellum þar sem miðlun vatns er mikil og/eða stíflumannvirki þvera ár er áhætta samfara byggingu virkjana oft veruleg og því er á stundum lítill munur á þeim skala sem notaður var við mat verðmæta og áhrifa.

Upplýsingar sem stuðst var við voru settar í textatöflur til að lýsa þeim forsendum sem matið byggði á. Haft var í huga að ef útfærslur breyttust gæti það haft áhrif á mat á viðkomandi svæði og þar með breytt mati í einkunn bæði virðis- og áhrifamats. Hverju svæði var skipt eftir ám og vötnum og miðað við áhrif ofan við virkjunarsvæði og neðan þeirra. Þegar um vatnsaflsvirkjanir er að ræða geta áhrif komið fram fjarri þeim stað sem orkuvinnsla fer fram á, t.d. ef breytingar verða á rennsli eða vatni er veitt milli vatnasviða. Áhrif geta þá komið fram á báðum vatnasviðunum. Jarðvarmavirkjanir eru yfirleitt utan svæða með miklum veiðihlunnindum en í nokkrum tilfellum eru áformaðar jarðvarmavirkjanir innan vatnasviða með veiðiám eða veiðivötnum.

Í textatöflu um áhrif fyrirhugaðra virkjana á veiðihlunnindi og veiðinýtingu í ám og vötnum var tekið fram hvaða veiðihlunnindi væru í húfi á hverjum stað. Gefin var ein einkunn fyrir hvern stað, bæði verðmæti og áhrifa. Í þeim tilfellum sem jarðvarmavirkjanir voru innan vatnasviða með fiskstofna og veiðihlunnindi voru möguleg áhrif metin á svipaðan hátt. Teknir voru með þættir sem taldir voru hafa áhrif á eftirspurn og verðmæti, eins og sérstaða stofna (stærð fiska, veiðivon) eða fágæti staða. Stuðst var við skráða veiði í yfirlitum eða gagnagrunni Veiðimálastofnunar. Einnig var stuðst við úttektir og niðurstöður í skýrslum af þeim svæðum sem rannsökuð hafa verið. Ef ekki var um slíkt að ræða var stuðst við þá aðra vitneskju sem fyrir liggur og mat þeirra sem best til þekkja.

4.3.3 Beitarhlunnindi og aðrar landnytjar

Virði beitarhlunninda og áhrif virkjana á þau voru metin. Fyrst og fremst er horft til sauðfjárbæitar en í sumum tilvikum er um að ræða möguleika á hrossabeit, túnrækt eða öðrum beitar- og ræktunarnytjum.

Einnig kom hér til álita að meta svæðin m.t.t. annarra hlunninda, s.s. grasatekju, sveppa- og berjatínslu, en niðurstaðan varð sú að mat á þeim hlunnindum ætti betur heima undir ferðaþjónustu og útivist, þar sem þessar nytjar eru almennt ekki seldar sérstaklega, en geta þó verið mikilvægur hluti af almennt ferðaþjónustu og útivist. Sömuleiðis kom til álita að meta áhrif virkjana á hlunnindi af fugla- og hreindýraveiðum, en eftir viðtöl við sérfræðinga á þeim sviðum var ályktað að ekki væru til staðar næg gögn til tölulegs mats á þeim þáttum. Hins vegar er rétt að hafa í huga að mat á beitarhlunnindum getur gefið vísbendingar um lífsskilyrði veiðidýra (hreindýr, rjúpur, gæsir). Þó að ekki hafi verið farið út í að meta skotveiðar og berja/sveppa/fjallagrasa-tínslu sem hlunnindi þá eru þessir þættir með sem viðmið í mati á virði svæða og áhrifum virkjana á ferðaþjónustu og útivist.

Virði svæða m.t.t. beitarhlunninda voru metin á eftirfarandi skala:

Einkunn	
0	Svæðið er lítt eða ekki gróið og einskis virði sem beitaland
1	Lítið gróið land, takmörkuð beitarnot, en unnt að rækta til beitar
3	Sæmilega gróið land, talsverð beitarnot og unnt að rækta til beitar
6	Vel gróið land, mikil beitarnot
10	Mjög gott beitar- og/eða ræktunarland

Áhrif virkjana á beitarhlunnindi voru metin á eftirfarandi skala:

Einkunn	
0	Engin áhrif á beitarhlunnindi
-1	Lítil neikvæð áhrif á beitarhlunnindi
-3	Talsverð neikvæð áhrif á beitarhlunnindi
-6	Mikil neikvæð áhrif á beitarhlunnindi
-10	Mjög mikil neikvæð áhrif á beitarhlunnindi

Við mat á beitarhlunnindum vegna vatnsaflsvirkjana var horft á þau svæði sem fara undir lón, stöðvarhús, línulagnir, vegi, slóða, námur og önnur mannvirki tengd virkjunum. Í þessum tilvikum tapast verðmætin alveg og þess vegna verða einkunnir fyrir áhrif virkjunar spegilmynd af virðiseinkunn verðmætanna. Við mat á beitarhlunnindum vegna jarðvarmavirkjana var gert ráð fyrir að áhrif virkjunarframkvæmda á beitarhlunnindi nái nokkuð út fyrir það svæði sem sjálf mannvirkin standa á, vegna mögulegrar loftmengunar, hávaða frá borholum o.fl. þátta sem gætu haft nokkur áhrif á beitarnot án þess endilega að útiloka þau alveg. Þarna eru því einkunnir fyrir áhrif virkjana ekki endilega spegilmynd af virðiseinkunn, þ.e. beitarhlunnindi svæðis geta minnkað án þess að hverfa alveg. Rétt er að benda á að ekki var tekið tillit til beitarálags eða núverandi fjölda búfjár á viðkomandi svæðum. Ástand jarðvegs og gróðurs á fyrirhuguðum virkjunarstöðum jarðvarmavirkjana er yfirleitt slæmt og þau svæði því ekki beitarhæf, en í mörgum tilvikum fá þau virðiseinkunn vegna þess að þar er land sem unnt er að bæta og gera beitarhæft. Sama á við í nokkrum tilvikum vatnsaflssvæða, þ.e.a.s. að jafnvel þó þau séu óbeitarhæf, þá fá þau virðiseinkunn þar sem unnt er að rækta þau til beitar. Í flestum tilvikum liggur ekki nákvæmlega fyrir hvar raflínur eru fyrirhugaðar í þessum virkjunarhugmyndum. Raflínur hafa yfirleitt lítil eða óveruleg áhrif á beitarlönd.

Ekki er tekið tillit til aðgerða af hálfu virkjunaraðila til að bæta fyrir skerta beit í virðismatinu. Það er aðeins í undantekningartilvikum sem þeim þætti eru gerð einhver skil í gögnunum sem fyrir liggja.

Rétt er að benda á að í allnokkrum tilvikum er ekki samræmi í virðismati gróðurfars fyrir ferðamennsku og útivist og í beitarhlunnindum, þar sem mjög ólíkar forsendur liggja þar að baki.

4.4 Verðmætatamat og röðun svæða eftir verðmætum

Í töflu 4.4 er sýnt mat á verðmætum vegna hlunninda. Verðmætið er metið gagnvart öllum virkjunarhugmyndum. Þar sem engin einkunn kemur fram eru hagsmunir taldir litlir sem engir. Notaðar eru einkunnirnar 0, 1, 3, 6 og 10 sbr. skilgreiningu í greinum 4.3.1 og 4.3.2 að framan.

Tafla 4.4 Faghópur II. Verðmætatamat á svæðum vegna hlunninda.

Staðar- númer	Virkjunarhugmynd	Verðmæti svæðis fyrir virkjunarframkvæmdir	
		til beitar	vegna veiða
1	Hvítá í Borgarfirði		6
2	Glámuvirkjun	1	1
3	Skúfnavatnavirkjun	1	3
4	Hvalá	1	1
5	Blönduveita	3	
6	Skatastaðavirkjun B	3	3
7	Skatastaðavirkjun C	3	3
8	Villinganesvirkjun	1	3
9	Fljótshnúksvirkjun	1	1
10	Hrafnabjargavirkjun A	1	1
11	Eyjadalsárvirkjun		
12	Arnardalsvirkjun	6	1
13	Helmingsvirkjun		1
14	Djúpá	6	3
15	Hverfisfljót		6
16	Skaftárveita með miðlun í Langasjó		6
17	Skaftárveita án miðlunar í Langasjó		3
18	Skaftárvirkjun	6	6
19	Hólmsárvirkjun - án miðlunar	3	3
20	Hólmsárvirkjun - miðlun í Hólmsárlóni	3	3
21	Hólmsárvirkjun neðri	6	3
22	Markarfljótsvirkjun A	3	
23	Markarfljótsvirkjun B	6	
24	Tungnárlón	1	6
25	Bjallavirkjun	1	6
26	Skrokkölduvirkjun		1
27	Norðlingaölduveita - 566-567,5 m y.s.	1	
28	Búðarhálsvirkjun	3	1
29	Hvammsvirkjun	10	3
30	Holtavirkjun	10	3

Staðar- númer	Virkjunarhugmynd	Verðmæti svæðis fyrir virkjunarframkvæmdir	
		til beitar	vegna veiða
31	Urriðafossvirkjun	6	10
32	Gýgjarfossvirkjun	3	
33	Bláfellsvirkjun	3	1
34	Búðartunguvirkjun	3	1
35	Haukholtsvirkjun		3
36	Vörðufell		6
37	Hestvatnsvirkjun		6
38	Selfossvirkjun		10
39	Hagavatnsvirkjun		
40	Búlandsvirkjun	6	6
61	Reykjanes	1	
62	Stóra-Sandvík		
63	Eldvörp (Svartsengi)		
64	Sandfell		
65	Trölladyngja		
66	Sveifluháls		
67	Austurengjar	3	1
68	Brennisteinsfjöll		1
69	Meitillinn	1	
70	Gráuhnúkar	1	
71	Hverahlíð	3	
72	Hellisheiði	3	
73	Innstidalur	3	1
74	Bitra	3	3
75	Þverárdalur (Ölfusvatnslundur)	3	3
76	Ölfusdalur	3	3
77	Grændalur	3	3
78	Geysir		
79	Hverabotn		
80	Neðri-Hveradalir		
81	Kisubotnar	1	
82	Þverfell	1	
83	Hveravellir		
84	Blautakvísl		
85	Vestur-Reykjadalir		
86	Austur-Reykjadalir		
87	Ljósártungur		
88	Jökultungur		
89	Kaldaklof		

Staðar- númer	Virkjunarhugmynd	Verðmæti svæðis fyrir virkjunarframkvæmdir	
		til beitar	vegna veiða
90	Landmannalaugar		
91,104	Hágönguvirkjun ^A		
92	Vonarskarð		
93	Kverkfjöll		
94	Askja		
95	Hrúthálsar		
96	Fremrinámar		3
97	Bjarnarflag	1	3
98	Krafla I- stækkun		3
99,103	Krafla II ^B		3
100	Gjástykki	3	
101,102	Þeistareykir ^C	6	

A Hágönguvirkjun stendur hér fyrir 91 Hágönguvirkjun, 1. áfangi og 104 Hágönguvirkjun, 2. áfangi, enda eru þær á sama virkjunarsvæði.

B Krafla II stendur hér fyrir 99 Krafla II, 1. áfangi og 103 Krafla II, 2. áfangi, enda eru þær á sama virkjunarsvæði.

C Þeistareykir stendur hér fyrir 102 Þeistareykir og 101 Þeistareykir vestursvæði, enda eru þær á sama virkjunarsvæði.

Tafla 4.5 sýnir mat á verðmætum ferðasvæða vegna ferðaþjónustu og útivistar. Heiti svæða taka mið af þekktum kennileitum og vísast til korts 4.1 um afmörkun svæðanna. Lagt er mat á verðmæti hvers undirviðfangs sbr. skilgreiningu í grein 4.3.3 hér að framan með einkunum 0, 1, 3, 6, 10 þar sem 10 vísar til mestra verðmæta.

Tafla 4.5 Faghópur II. Verðmætamat á svæðum vegna ferðaþjónustu og útivistar.

Röð	Ferðasvæði	Verðmætamat svæðis án virkjunarframkvæmda
1	Jökulsárgljúfur	9,60
2	Hveravellir	9,58
3	Askja	9,42
4	Torfajökull	9,31
5	Landmannalaugar	9,29
6	Sprengisandur	9,28
7	Gullfoss	9,18
8	Eldgjá	9,11
9	Mývatn	9,10
10	Langisjór	8,97
11	Þórsmörk	8,94
12	Hólmsárbotnar	8,91
13	Kerlingarfjöll	8,90
14	Mælifellssandur	8,88

15	Laki	8,87
16	Kiðagil	8,86
17	Geysir	8,83
18	Hengill	8,72
19	Markarfljót	8,71
20	Hverfisfljót	8,69
21	Eldhraun	8,68
22	Krýsuvík	8,59
23	Reykjanestá	8,52
24	Hekla	8,47
25	Álftavatn	8,38
26	Kverkfjöll	8,37
27	Veiðivötn	8,37
28	Öldufell	8,37
29	Goðafoss	8,33
30	Djúpá	8,09
31	Fremrinámar	8,04
32	Núpsstaðaskógur	7,89
33	Skagafjarðardalir	7,80
34	Ódáðahraun	7,76
35	Gjástykki	7,74
36	Þjórsárdalur	7,72
37	Ófeigsfjarðarheiði	7,62
38	Gljúfurleit	7,57
39	Arnardalur	7,53
40	Hagavatn	7,38
41	Hágöngur	7,32
42	Vonarskarð	7,25
43	Tindfjöll	7,17
44	Keilir	7,11
45	Þjórsárver	7,01
46	Brennisteinsfjöll	7,01
47	Bláfjöll	6,91
48	Þeistareykir	6,28
49	Þórisvatn	6,23
50	Þjórsá í byggð	6,03
51	Hrunamannafréttur	5,85
52	Jökulheimar	5,71
53	Tungnaá	5,33
54	Skálafell	5,21
55	Eyvindarstaðaheiði	4,90
56	Skarðsmýrarfjall	4,54
57	Auðkúluheiði	4,52

4.5 Mat á áhrifum virkjunarframkvæmda og röðun virkjunarhugmynda

Í töflu 4.6 er virkjunarhugmyndum raðað eftir samsettri heildareinkunn áhrifa virkjunarframkvæmda á beit, veiðar, ferðaþjónustu og útivist. Heildareinkunnin er reiknuð með vogtölum meginviðfanga eins og lýst er í grein 4.3 hér að ofan. Þar vega ferðaþjónusta og útivist 82%, veiðar í ám og vötnum 10% og beitarhlunnindi 8%.

Tafla 4.6 Faghópur II. Röðun virkjunarhugmynda eftir samsettri heildareinkunn áhrifa virkjunar- framkvæmda á beit, veiðar, ferðaþjónustu og útivist.

Röð	Virkjunarhugmynd	Einkunn	Staðarnúmer
1	Torfajökulssvæði jarðvarmi	10,00	84-90
2	Askja	10,00	94
3	Skaftárvirkjun	9,01	18
4	Hólmsárvirkjun - miðlun í Hólmsárlóni	8,74	20
5	Markarfljótsvirkjun B	8,68	23
6	Markarfljótsvirkjun A	8,44	22
7	Arnardalsvirkjun	8,27	12
8	Vonarskarð	7,99	92
9	Bláfellsvirkjun og Gýgjarfossvirkjun	7,78	32-33
10	Kverkfjöll	7,37	93
11	Hólmsárvirkjun - án miðlunar	6,91	19
12	Kerlingarfjallavirkjanir	6,31	79-82
13	Hrúthálsar	6,05	95
14	Fremrinámar	5,87	96
15	Geysir	5,87	78
16	Helmingsvirkjun	5,77	13
17	Skaftárveita með miðlun í Langasjó1	5,69	16
18	Fljótshnúksvirkjun	5,67	9
19	Búðartunguvirkjun	5,55	34
20	Hveravellir	5,30	83
21	Gjástykki	5,29	100
22	Skatastaðavirkjun B	5,07	6
23	Búlandsvirkjun	5,07	40
24	Hrafnabjargavirkjun A	5,00	10
25	Skatastaðavirkjun C	4,60	7
26	Hágönguvirkjun	4,56	91, 104
27	Hólmsárvirkjun neðri	4,55	21
28	Djúpá	4,51	14
29	Skaftárveita án miðlunar í Langasjó1	4,31	17
30	Hverfisfljót	4,10	15
31	Skrokkölduvirkjun	4,05	26

32	Brennisteinsfjöll	3,86	68
33	Bjallavirkjun	3,56	25
34	Grændalur	3,46	77
35	Austurengjar	3,32	67
36	Sveifluháls	3,29	66
37	Hagavatnsvirkjun	3,21	39
38	Þverárdalur (Ölfusvatnslendur)	3,20	75
39	Bitra	3,08	74
40	Ölfusdalur	2,89	76
41	Innstidalur	2,74	73
42	Villinganesvirkjun	2,63	8
43	Tungnarlón	2,43	24
44	Trölladyngja	2,39	65
45	Norðlingaölduveita - 566-567,5 m y.s.	2,24	27
46	Hvalá	2,15	4
47	Sandfell	2,07	64
48	Hvammsvirkjun	2,03	29
49	Urriðafossvirkjun	1,88	31
50	Eldvörp (Svartsengi)	1,85	63
51	Þeistareykir	1,83	101, 102
52	Stóra-Sandvík	1,31	62
53	Holtavirkjun	1,28	30
54	Hverahlíð	1,20	71
55	Bjarnarflag	1,02	97
56	Krafla I og II	0,95	98,99,103
57	Gráuhnúkar	0,93	70
58	Meitillinn	0,80	69
59	Búðarhálsvirkjun	0,34	28
60	Blönduveita	0,27	5
61	Reykjanes	0,27	61
62	Hellisheiði	0,16	72

4.6 Niðurstöður

Í töflu 4.7 er sýnd lokaröðun virkjunarhugmynda, frá lökustu (efst) til bestu hugmynda út frá sjónarhóli hlunninda, ferðapjónustu og útivistar. Við röðunina var beitt þrepagreiningu (Analytical Hierarchy Process) og stuðst við 1) mat á áhrifum virkjunar, 2) verðmæti svæðis vegna beitar, veiða, ferðapjónustu og útivistar, 3) sérstakt mikilvægi svæðis og 4) óvissu og áhættu sem faghópurinn taldi framkvæmdinni samfara.

Tafla 4.7 Faghópur II. Lokaröðun virkjunarhugmynda með AHP-prepagreiningu.

<i>Röð skv. AHP-prepa- greiningu</i>	<i>Virkjunarhugmynd</i>	<i>Staðarnúmer</i>
1	Torfajökulssvæði	84-89
2	Askja	94
3	Geysir	78
4	Markarfljótsvirkjun B	23
5	Hólmsárvirkjun - miðlun í Hólmsárlóni	20
6	Kerlingarfjallavirkjanir	79-82
7	Skaftárvirkjun	18
8	Kverkfjöll	93
9	Arnardalsvirkjun	12
10	Vonarskarð	92
11	Markarfljótsvirkjun A	22
12	Hveravellir	83
13	Djúpá	14
14	Gjástykki	100
15	Bláfellsvirkjun og Gýgjarfossvirkjun	32-33
16	Skaftárveita með miðlun í Langasjó	16
17	Skatastaðavirkjun B	6
18	Helmingsvirkjun	13
19	Hólmsárvirkjun - án miðlunar	19
20	Hrúthálsar	95
21	Hrafnabjargavirkjun A	10
22	Búðartunguvirkjun	34
23	Fremrinámar	96
24	Fljótshnúksvirkjun	9
25	Hágönguvirkjun	91,104
26	Skatastaðavirkjun C	7
27	Búlandsvirkjun	40
28	Skaftárveita án miðlunar í Langasjó	17
29	Hólmsárvirkjun neðri	21
30	Hverfisfljót	15
31	Grændalur	77
32	Hagavatnsvirkjun	39
33	Bjallavirkjun	25
34	Brennisteinsfjöll	68
35	Skrokkölduvirkjun	26
36	Villinganesvirkjun	8
37	Tungnaárlón	24
38	Bitra	74

39	Urriðafossvirkjun	31
40	Austurengjar	67
41	Þverárdalur (Ölfusvatnslundur)	75
42	Sveifluháls	66
43	Innstidalur	73
44	Ölfusdalur	76
45	Norðlingaölduveita - 566-567,5 m y.s.	27
46	Hvalá	4
47	Hvammsvirkjun	29
48	Trölladyngja	65
49	Sandfell	64
50	Eldvörp (Svartsengi)	63
51	Þeistareykir	101-102
52	Holtavirkjun	30
53	Stóra-Sandvík	62
54	Hverahlíð	71
55	Meitillinn	69
56	Gráuhnúkar	70
57	Bjarnarflag	97
58	Krafla I og II	98,99,103
59	Búðarhálsvirkjun	28
60	Blönduveita	5
61	Reykjanes	61
62	Hellisheiði	72

4.7 Sérstakar ábendingar frá faghópi II

Ný aðferð var þróuð af sérfræðingum faghóps II við mat á virði svæða fyrir ferðamennsku og útivist og áhrifum virkjana á virðið. Æskilegt er að þróa þessa aðferð enn frekar meðal annars með því að nota betri hugbúnað (gagnagrunn og landfræðileg upplýsingakerfi) í stað töflureiknisins Excel sem notast var við í þessari umferð. Eftir því sem leið á vinnuna og gagnagrunnurinn varð stærri urðu allar breytingar og viðbætur mjög þungar og erfiðar í vinnslu. Úr þessu er hægt að bæta án mikils tilkostnaðar. Slíkur hugbúnaður mun auðvelda vinnu sérfræðinga og jafnframt gera hagsmunaaðilum og almenningi auðveldara að fá yfirsýn yfir forsendur og niðurstöður áhrifamats.

Rétt er að benda á að sérhver virkjunarhugmynd er metin eins og hún sé ein og að hún sé næst á dagskrá, þ.e. hver hugmynd er metin án tillits til annarra virkjunarhugmynda. Þetta getur haft áhrif. T.d. eykst virði svæða fyrir útivist og ferðaþjónustu þegar ný orkumannvirki eru reist og nálægum útivistarsvæðum fækkar. Aðferðin tekur ekki á slíkum atriðum. Því er líklegt að röðun virkjunarhugmynda breytist við hverja virkjunarhugmynd sem verður að veruleika.

Í mati faghópsins sátu allar virkjunarhugmyndir við sama borð. Þær hugmyndir sem farið hafa gegnum mat á umhverfisáhrifum framkvæmda eru mun nánar útfærðar en hugmyndir á stigi frumhönnunar og njóta jafnframt í mati þeirra mótvægisáðgerða sem skilgreindar eru, ef ekki eru uppi álitamál um hvort áðgerðirnar nái þeim markmiðum sem þeim eru sett. Við mat á „beit” var þó ekki tekið tillit til áðgerða af hálfu virkjunaraðila til að bæta fyrir skerta beit, þar sem þeim þætti voru aðeins gerð skil í undantekningartilvikum í gögnunum sem fyrir lágu.

Ferðamennska á hálendinu er viðkvæmust fyrir orkumannvirkjum og í aðferð faghópsins var því lögð megin áhersla á þann þátt. Þetta hefur áhrif á mat á svæðum í nágrenni höfuðborgarinnar og einnig á svæðum á jaðri hálendisins þar sem aðferðin á ekki eins vel við. Úr þessu mætti bæta í framtíðinni.

Mikilvægi lítt snortinna svæða í nágrenni höfuðborgarinnar er líklega eitthvað vanmetið, bæði fyrir útivist þeirra sem þar búa og fyrir ferðaþjónustuna á höfuðborgarsvæðinu. Á þessu svæði búa margir og þarna eru ferðamenn flestir og nálæg útivistar- og náttúrusvæði eru því sérstaklega verðmæt. Verðmæti þeirra mun að auki vaxa eftir því sem akstur verður dýrari með hækkandi eldsneytisverði. Svipað á við um önnur svæði utan hálendisins en nær byggð, þau eru mikilvæg og skapa umsvif í nálægum byggðarlögum.

4.8 Tillögur um frekari rannsóknir

Af viðfangsefnum faghópsins er besta þekkingin á veiðum og þá einkum veiðum í ám og vötnum landsins. Sú þekking sem fengist hefur á löngum tíma með rannsóknum á vegum Veiðimálastofnunar og fleiri aðila reyndist mjög mikilvæg fyrir verkefnið. Varðandi önnur hlunnindi, og þá einkum beit, var stuðst við gróðurkort og náttúrufarsupplýsingar sem til voru. Ekki voru gerðar sérstakar rannsóknir fyrir verkefni faghóps II frá því að 1. áfanga rammaáætlunar lauk. Rannsóknir varðandi ferðamennsku, og jafnvel enn frekar útivist, eru mun takmarkaðri en fyrir önnur viðföng faghópsins. Fyrir frekari vinnu við síðari áfanga rammaáætlunar væri mikilvægt að hugað væri að frekari rannsóknum til að meta virði svæða fyrir ferðamennsku og að meta hvaða áhrif virkjanir hafa á það virði. Faghópurinn vill sérstaklega koma þessum ábendingum á framfæri:

1. Mat á mikilvægi útivistar og gildi hennar fyrir lífsgæði og lýðheilsu liggur ekki fyrir. Telja má öruggt að þetta snúi bæði að heimamönnum og innlendum sem erlendum ferðamönnum. Þekking á því hvers konar umhverfi hefur gildi fyrir þann sem nýtur útivistarinnar þarf að vera hluti af rannsóknarefninu. Með breyttu samfélagsmynstri og atvinnuháttum síðustu áratuga hafa bæði viðhorf til útivistar og þörfin fyrir að njóta náttúrunnar breyst verulega.
2. Þörf er á samanburðarrannsóknum þar sem fjallað er um ferðamennsku og útivist fyrir og eftir virkjun á mismunandi svæðum. Mikilvægt er að byggja frekari ákvarðanir á slíkum rannsóknum. Áhrif á upplifun, dvalarlengd og til hvaða markhópa viðkomandi svæði höfðar fyrir og eftir virkjun þurfa að vera hluti rannsóknarinnar. Sem dæmi mætti nefna að samanburður á ferðamennsku og útivist á Hellisheiði fyrir og eftir að Hellisheiðarvirkjun var reist, myndi nýtast vel sem viðmið við mat sambærilegt því sem faghópnum var falið

að vinna. Sama má segja um sambærilegar rannsóknir á Kárahnjúkasvæðinu. Hafa þarf í huga að slíkar rannsóknir þurfa að taka til áhrifa í tíma og rúmi.

3. Á vegum ráðuneytis ferðamála, og Ferðamálastofu er nú hafin vinna við áætlun um ferðamennsku á miðhálandi Íslands. Byggir sú vinna að hluta á vinnu faghóps II í 2. áfanga rammaáætlunar. Rannsóknin snýr einnig að þolmörkum ferðamennsku á svæðunum (náttúru, innviðum og upplifun ferðamanna) og mati á virði ferðamannastaða. Könnun á viðhorfum ferðapjónustunnar til nýtingar hálandisins og hvernig hún vill nýta það í framtíðinni er hluti af verkefninu. Með hliðsjón af þessu verður gerð áætlun fyrir ferðamennsku á hálandinu. Mikilvægt er að verkefninu verði tryggt brautargengi og mun það þá nýtast við áframhaldandi vinnu við rammaáætlun auk annarrar mikilvægrar nýtingar við skipulag og stefnumótun um heildarnýtingu auðlindarinnar sem hálandið er, hvort sem litið er til orkunýtingar, verndunar eða ferðamennsku.
4. Lítt raskað landslag og landslagsheildir eru taldar ein af auðlindum þeim sem íslensk ferðapjónusta byggir á. Þörf er á frekari rannsóknum á þessu sviði og geta rannsóknir þær sem faghópur I leggur til að unnar verði út frá verndun landslags (kafli 3.7) og rannsóknir á mikilvægi landslags tengt útivist og ferðapjónustu átt samleið. En það er ekki síst fagurfræðilegt, upplifunar- og tilfinningalegt gildi sem ræður vali á þeim svæðum sem fólk sækist eftir að nýta frítíma sinn á. Leggja þarf mat á sérstöðu hins íslenska landslags sem býður upp á mikla fjölbreytni, víðáttu, litskrúðug háhitasvæði, ummerki eldsumbrota og stórfengleg vatnsföll svo sum af sérkennum þess séu nefnd.

Í þeim rannsóknum sem til eru, er litið fjallað um hlut menningarminja og menningarlandslags og áhrif þeirra á ferðamennsku. Það er ljóst að vægi menningar og sögu hefur verið að aukast samkvæmt þeim mælingum sem til eru. Æskilegt væri að geta greint hlut fornminja og menningarminja í því vægi.

5 Aðferðafræði og niðurstöður faghóps III

5.1 Verkefni og skipan faghópsins

Verkefni faghóps III var að meta áhrif á þjóðhagsmál, atvinnulíf og byggðapróun eða með öðrum orðum að meta hvaða áhrif það hefur á aðra atvinnustarfsemi að nýta virkjunarhugmyndina. Einnig langtímaáhrif nýtingar á efnahag, atvinnulíf og byggðapróun. Með því að horfa eingöngu á þessa skilgreiningu á verksviði hópsins mætti ef til vill segja að faghópnum væri ætlað að framkvæma samþætt mat á heildaráhrifum nýrra virkjana. Ljóst er þó að samþætting á niðurstöðum einstakra faghópa er hlutverk verkefnisstjórnar. Í því ljósi verður að líta svo á að faghópur III eigi ekki að meta þætti sem til skoðunar eru í öðrum faghópum því mikilvægt er að mat á einstökum þáttum sé ekki unnið samhliða í fleiri faghópum. Hver faghópur skal kappkosta að horfa þröngt á sitt viðfangsefni en gæta þess einnig að engir mikilvægir þættir lendi á einskismannslandi utan lögsögu tiltekins faghóps. Samráðsfundir formanna faghópanna gegndu mikilvægu hlutverki í þessu samhengi við miðlun upplýsinga milli faghópanna.

Faghópur III var þannig skipaður: Kjartan Ólafsson, félagsfræðingur og lektor við Háskólann á Akureyri, var formaður, Daði Már Kristófersson, hagfræðingur og lektor í auðlindahagfæði við hagfræðideild HÍ, Guðmundur Guðmundsson, sérfræðingur hjá Byggðastofnun, Hjalti Jóhannesson, landfræðingur og aðstoðarforstöðumaður Rannsókn- og þróunarmiðstöðvar Háskólans á Akureyri, Jóhannes Geir Sigurgeirsson, ráðgjafi og framkvæmdastjóri, og Ragnheiður Jóna Ingimarsdóttir, menningarfulltrúi Eyþings.

5.2 Aðferðafræði

5.2.1 Aðferðir og niðurstöður faghóps III í 1. áfanga

Við samanburð á vinnu faghóps III í 1. áfanga rammaáætlunar annars vegar og 2. áfanga hins vegar er mikilvægt að hafa í huga að mat á áhrifum virkjunar á ferðaþjónustu var á könnu faghóps III í 1. áfanga en var fært til faghóps II í 2. áfanga.

Faghópur III í 1. áfanga rammaáætlunar vann gott og metnaðarfullt starf við að kanna og skilgreina áhrif virkjana á þjóðhagsmál, atvinnulíf og byggðapróun. Upphaflega áformaði faghópurinn að meta áhrif virkjana á fjóra þætti⁵³.

- Þjóðhagsleg áhrif af byggingu og starfrækslu virkjunar
- Staðbundin áhrif af byggingu og starfrækslu virkjunar
- Áhrif virkjunar á ferðaþjónustu
- Staðbundin og þjóðhagsleg áhrif af nýtingu orkunnar

Mat á hverjum þessara þátta skyldi mælt á peningalegum kvarða yfir starfstíma virkjunar og núvirt. Síðan var hugmyndin að matið gæti bætt við eða dregið úr arðsemi einstakrar virkjunarhugmyndar þegar hún væri skoðuð frá sjónarhóli þjóðarbúsins alls miðað við virkjunaraðilann einan. Hugmyndin var þannig sú að faghópur III skoðaði þætti sem metnir yrðu til fjár og þannig væri unnt að gera samanburð við arðsemismat framkvæmdaraðila.

⁵³ Rammaáætlun, 2001. Minnisblað faghóps III í 1. áfanga eftir fund 3. desember 2001.

Á grundvelli þessa mætti raða virkjunarhugmyndum þannig að virkjun sem nýtti mikið af innlendum framleiðsluþáttum væri framar í röðinni en sú sem nýtti meira erlenda framleiðsluþætti; bygging virkjunar sem ætla mætti að sækti frekar vinnuafli til landsbyggðarinnar yrði fyrir valin en sú sem sækti vinnuafli sitt aðallega til höfuðborgarsvæðisins. Þá yrði virkjun sem líklegri þætti til að skapa störf á landsbyggðinni valin á undan þeirri sem ekki skapaði slík störf. Að síðustu var hópnum ætlað að meta til fjár áhrif virkjunar á aðra atvinnustarfsemi. Þar var þá einkum horft til ferðaþjónustu sem að margra mati er sú atvinnugrein sem helst verður fyrir áhrifum af virkjnum⁵⁴.

Raunin varð þó önnur og eftir yfirgripsmikla vinnu (hópurinn fundaði ekki sjaldnar en 30 sinnum á um tveggja ára tímabili) varð niðurstaðan sú að ekki væru forsendur til að greina á milli virkjana m.t.t. áhrifa þeirra á atvinnu og efnahag. Hins vegar taldi hópurinn að líta mætti til þriggja þátta sem gefið gætu vísbendingar um efnahagsleg áhrif virkjana og áhrif sem þær kynnu að hafa á viðkomandi byggð⁵⁵. Í fyrsta lagi greindi hópurinn áhrifasvæði viðkomandi virkjana með tilliti til þess hvort þau hefðu *gildi fyrir ferðaþjónustu* og hvaða áhrif virkjun gæti haft á möguleika fyrirtækja í ferðaþjónustu til að nýta sér svæðið til framdráttar starfsemi sinni. Í öðru lagi taldi hópurinn að aðstæður til að *nýta varma* til annars en rafmagnsframleiðslu og möguleg nýting afgangsvarma gætu skotið traustari stöðum undir jarðvarmavirkjanir og skapað möguleika til framþróunar atvinnulífs í nærliggjandi byggð. Í þriðja lagi greindi faghópurinn þær virkjanir sem gætu skapað forsendur fyrir *orkufrekum iðnaði á landsbyggðinni*.

Það sem einkum stóð faghópi III fyrir þrífum í 1. áfanga rammaáætlunar var að þær áætlanir sem hópurinn fékk til umfjöllunar voru mjög mismunandi og gáfu ekki færi á að gera upp á milli virkjunarhugmyndanna að því er varðaði innlenda kostnaðarhlutdeild við byggingu þeirra eins og lagt var upp með. Þar með taldi hópurinn að ekki væri unnt að meta hvert framlag byggingar þeirra yrði til landsframleiðslunnar⁵⁶.

Ef til vill er óraunhæft að ætla þegar ráðist er í framkvæmd almennrar áætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma að til séu svo nákvæmar áætlanir um allar mögulegar virkjunarhugmyndir að unnt sé að framkvæma mat af því tagi sem faghópur III í 1. áfanga rammaáætlunar taldi æskilegt að framkvæma. Raunar er það svo að margar af þeim virkjunarhugmyndum sem koma til umfjöllunar í rammaáætlun eru ýmist lítið útfærðar eða komnar til ára sinna. Ennfremur er vert að hafa í huga að nákvæm útfærsla einstakra virkjunarhugmynda liggur þá fyrst fyrir þegar komið er á lokastig hönnunar.

5.2.2 Aðferðir og nálgun faghóps III í 2. áfanga

Með hliðsjón af þeirri vinnu sem unnin var af faghópi III í 1. áfanga rammaáætlunar og

⁵⁴ Rammaáætlun, 2002. Minnisblað faghóps III í 1. áfanga. *Tilraunamat á 10 virkjunarkostum*. Greinargerð faghóps III, október 2002, 16 bls.

⁵⁵ Rammaáætlun, 2003a. *Niðurstöður 1. áfanga rammaáætlunar*. Verkefnisstjórn um gerð rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Iðnaðarráðuneytið, nóvember 2003, 75 bls + viðaukar. (Sjá bls. 49).

⁵⁶ Rammaáætlun, 2003b. Viðauki b5 (Faghópur III, aðferðafræði og niðurstaða mats) með skýrslu um niðurstöður 1. áfanga rammaáætlunar. Nóvember 2003.

niðurstöðum ýmissa rannsókna á samfélagslegum áhrifum af byggingu og rekstri virkjana var það niðurstaða faghóps III í 2. áfanga að útilokað væri að ná því markmiði að mæla þjóðhagsleg og byggðaleg áhrif virkjana með fullnægjandi hætti á peningalegan mælikvarða. Meginástæða þessa er að þær áætlanir um virkjanir sem liggja til grundvallar við gerð rammaáætlunar fela sjaldnast í sér nákvæmar upplýsingar um fyrirhugaða nýtingu orkunnar. Til að meta þjóðhagsleg áhrif mismunandi virkjunarhugmynda að fullu þarf hins vegar að liggja fyrir áætlun um hvernig orkan verður nýtt. Til viðbótar hefur faghópurinn mjög horft til þeirrar þekkingar sem aflað hefur verið á þeim tíma sem liðinn er frá því að lokið var við 1. áfanga. Þar er einkum um að ræða rannsóknir sem gerðar hafa verið á samfélagsáhrifum stóriðjuframkvæmda á Austurlandi⁵⁷. Einnig er byggt á mati á áhrifum stóriðjuframkvæmda á íslenskt efnahagslíf sem Hagfræðistofnun Háskóla Íslands hefur gert fyrir iðnaðarráðuneytið⁵⁸.

Í framhaldi af umræðunni innan hópsins við upphaf vinnunnar má draga fram nokkra þætti sem hafa rammað inn vinnu hópsins og nálgunina við þróun matslíkans.

Hvers konar mat? Í stórum dráttum eru þau áhrif sem faghópi III er ætlað að meta af tvennum toga. Annars vegar er um að ræða áhrif á *efnahagsgerð* og hins vegar á *félagsgerð* samfélagsins. Undir hvorn þessara þátta falla svo undirþættir. Sú nálgun að skipta matinu í þessar tvær megin víddir byggist á þeirri tilgátu sem sett hefur verið fram um mat fólks á búsetuskilyrðum sínum að þar sé gerður greinarmunur annars vegar á fjárhagslegri afkomu einstaklinga og hinsvegar á samfélagslegum gæðum sem ekki mælast á peningalegum kvarða. Í þessu sambandi er nærtækt að nefna kenningar um félagslegan auð og menningarauð. Í rannsóknum á búsetuskilyrðum fólks á Íslandi eftir svæðum hefur ítrekað mátt finna vísbendingar um mikilvægi þess að skoða fleira en bara það sem mæla má á peningalegum kvarða⁵⁹.

Áhrifasvæði. Mikilvægt er að gera greinarmun á áhrifasvæði framkvæmda, annars vegar þegar metin eru áhrif á náttúrufarslegt umhverfi og hins vegar þegar metin eru áhrif á félagslegt umhverfi. Í báðum tilvikum skiptir fjarlægð máli og staðsetning mannvirkja hefur augljóslega talsverð áhrif á hvar og með hvaða hætti áhrifa gætir af virkjunum. Einnig skiptir miklu hvaðan þeir aðilar sem annast tiltekna verkþætti koma og hvar starfsmenn eru búsettir. Þannig komu áhrif stóriðjuframkvæmda á Austurlandi ekki aðeins fram á Mið-Austurlandi heldur einnig á höfuðborgarsvæðinu. Til einföldunar leit faghópurinn til skiptingar landsins í átta svæði: Höfuðborgarsvæði, Suðurnes, Vesturland, Vestfirði, Norðurland vestra, Norðurland eystra, Austurland og Suðurland. Fyrir þessi svæði eru til landshlutabundnir þjóðhagsreikningar⁶⁰ og þar með upplýsingar um þróun og umfang efnahagslífsins. Hagstofa Íslands leggur þessa svæðisskiptingu einnig til grundvallar við birtingu ýmissa hagtalna. Fyrir þessi svæði má því einnig fá upplýsingar um þróun íbúafjölda og fleira sem máli skiptir við mat á samfélagsáhrifum. Um allar virkjunarhugmyndir má þannig segja að áhrifa þeirra gætir að einhverju leyti á öllum

⁵⁷ Hjalti Jóhannesson, Auður Magnús Leiknisdóttir, Enok Jóhannesson, Jón Þorvaldur Heiðarsson, Kjartan Ólafsson, Trygvi Hallgrímsson og Valtýr Sigurbjarnarson, 2008. *Rannsókn á samfélagsáhrifum álvers- og virkjunarframkvæmda á Austurlandi. Áfangaskýrsla II - stöðulýsing í árslok 2007*. Bygðarannsóknastofnun, Akureyri, 209 bls.

⁵⁸ Hagfræðistofnun, 2009. *Áhrif stóriðjuframkvæmda á íslenskt efnahagslíf*. Iðnaðarráðuneytið, Reykjavík, júlí 2009, 103 bls.

⁵⁹ Bygðarannsóknastofnun og Hagfræðistofnun, 2003. *Fólk og fyrirtæki. Um búsetu- og starfsskilyrði á landsbyggðinni*. Akureyri og Reykjavík, Bygðarannsóknastofnun og Hagfræðistofnun.

⁶⁰ Bygðastofnun og Hagfræðistofnun, 2008. *Hagvöxtur landshluta 2000-2006*. Sauðárkróki og Reykjavík, Bygðastofnun og Hagfræðistofnun, desember 2008, 10 bls.

landssvæðum. Áhrifin eru hins vegar mismunandi mikil. Þau eru annars vegar mest í næsta nágrenni virkjunarinnar og hins vegar þar sem mannfjöldi er mestur. Því gildir það almennt um allar virkjanir á Íslandi að stór hluti samfélagsáhrifa þeirra kemur fram á höfuðborgarsvæðinu.

Afmörkun í tíma. Gera þarf greinarmun á áhrifum annars vegar á framkvæmdatíma og hins vegar á rekstrartíma. Almennt eru það áhrif á rekstrartíma sem að er stefnt með virkjunum og raunar má segja að það sé eftirsóknarvert að á framkvæmdatímanum verði eins lítið rask í samfélaginu og unnt er. Við mat á áhrifum á rekstrartíma er sá vandi að örðugt er að segja til um það fyrirfram með neinu öryggi hvar orka frá tiltekinni virkjun muni verða notuð og þar með hvar samfélagsáhrif af rekstri tiltekinnar virkjunar muni koma fram. Þetta getur jafnvel verið erfitt þótt virkjun sé byggð í þeim yfirlýsta tilgangi að sjá tilteknu fyrirtæki fyrir raforku því enda þótt orkusölusamningar séu gerðir til langs tíma er sá tími skemmri en líftími virkjunarinnar. Niðurstaða faghópsins er sú að leggja til grundvallar þá forsendu að orka sem framleidd er í nýjum virkjunum á Íslandi á komandi árum verði notuð af almennum notendum og stórnotendum í sömu hlutföllum og notkunin er við núverandi aðstæður. Þetta þýðir með öðrum orðum að fyrir allar nýjar virkjanir er gert ráð fyrir að tiltölulega lítill hluti af orkunni fari á almennan markað en stærstur hluti sé seldur nýjum notendum og líklegast stórnotendum. Ennfremur að það hvar orkan er notuð sé í öfugu hlutfalli við fjarlægð frá virkjun en í réttu hlutfalli við íbúafjölda í einstökum landshlutum.

Áhrifapættir. Þrátt fyrir að víða í samfélaginu sé unnt að greina áhrif af virkjunum er ljóst að tiltekin svið þess verða frekar fyrir áhrifum en önnur. Þessi áhrif eru háð nálægð við virkjanir í tvennum skilningi. Í fyrsta lagi eru áhrifin merkjanleg vegna landfræðilegrar nálægðar. Þessi áhrif skapast svo annars vegar við rekstur viðkomandi virkjunar og hins vegar við notkun orkunnar. Í öðru lagi er um að ræða félagslega nálægð sem ræðst af því í hversu miklum samskiptum tilteknir einstaklingar eru við þá sem starfa í virkjun eða afleiddum störfum. Erfitt er að kortleggja þessi áhrif fyrirfram með nákvæmum hætti. Við umhverfismat framkvæmda hefur mat á samfélagsáhrifum einkum verið miðað við að skoða eftirtalda þætti: 1) Efnahag og möguleika fólks til að afla sér tekna, 2) vinnumarkað, 3) mannfjölda og búsetuþróun, 4) starfsemi sveitarfélaga og þjónustu þeirra, 5) húsnaðismál, 6) þjónustu almennt, 7) opinbera þjónustu, 8) nýtingu lands og auðlinda, 9) ferðaþjónustu, og 10) lífsstíl fólks.

Faghópurinn ræddi í þaula hvaða mikilvægu þætti gæti þurft að meta til að unnt væri að raða virkjunarhugmyndum með hliðsjón af áhrifum á þjóðarhag. Eftirfarandi þættir voru meðal annars til skoðunar: Íbúafjöldi, samsetning íbúafjölda, samfélagsheildir (atvinnu- og búsvæði), velta fyrirtækja, virðisauki, margfeldisáhrif, hljóðvist, loftgæði, þjónusta ríkisvaldsins, þjónusta sveitarfélaga, þjónusta fyrirtækja, fjölbreytni starfa, hreyfanleiki á vinnumarkaði, atvinnuleysi, launatekjur, menntun, útivist, nýting og verð fasteigna, afhendingaröryggi raforku, félagslegur auður og væntingar heimamanna um nýtingu orkunnar. Niðurstaðan varð sú að miða við þá þætti sem venja hefur skapast að taka til skoðunar við mat á samfélagsáhrifum þegar unnið er mat á umhverfisáhrifum framkvæmda (sbr. ofar). Þar er ennfremur um að ræða sömu þætti og verið hafa til skoðunar í rannsóknum Hagfræðistofnunar HÍ á efnahagslegum áhrifum stóriðju sem og rannsóknum HA á samfélagsáhrifum stóriðjuframkvæmda á Austurlandi. Til viðbótar þarf svo að taka mið af því sem að framan er sagt um mun á framkvæmdatíma og rekstrartíma, um áhrif á félagsgerð annars vegar og efnahagsgerð hins vegar og að auki mun á staðbundnum

áhrifum og áhrifum á landsvísu. Miðað við þessa nálgun þarf fyrir hverja virkjunarhugmynd að horfa til 72 þátta og sem hver um sig gæti haft nokkra undirþætti. Á sama tíma er þó ljóst að innbyrðis tengsl eru milli þessara þátta og að fyrir suma þætti eru áhrifin lítil, mjög staðbundin eða koma fram í mjög takmarkaðan tíma. Faghópurinn lagði þannig áherslu á að finna þá þætti sem líklegastir eru til að gefa heildarmynd af áhrifum ólíkra virkjunarhugmynda án þess að matið yrði óhóflega flókið. Við þessa vinsun var eftirfarandi haft að leiðarljósi:

1. Hver faghópur metur sitt viðfangsefni og hver matsþáttur er aðeins metinn af einum faghópi. Ef fleiri en einn faghópur skoðar sama hlutinn verður erfiðara að stjórna vægi einstakra þátta í lokaniðurstöðu rammaáætlunar.
2. Finna þarf og meta þá þætti sem eru breytilegir milli virkjunarhugmynda. Áhrif sem koma fram með þeim hætti að allar virkjunarhugmyndir færast upp eða niður skipta ekki máli í samhengi rammaáætlunar.
3. Finna þarf þá þætti sem verða fyrir umtalsverðum áhrifum. Unnt er að greina einhver áhrif af virkjunum á mjög mörg svið samfélagsins en mestu skiptir að finna þætti sem verða fyrir umtalsverðum áhrifum og varða marga.

Ennfremur er við þessa vinsun gengið útfrá eftirfarandi forsendum:

1. Nær útilokað er að fullyrða fyrirfram um að áhrif séu jákvæð eða neikvæð heldur fela tiltekna virkjunarhugmyndir í sér mikla eða litla *möguleika til breytinga* í samfélaginu.
2. Mikilvægt er að meta umfang áhrifa eins og kostur er án þess að þurfa að reiða sig á huglægt mat aðila í faghópnum.

Tafla 5.1 hér fyrir neðan sýnir annars vegar matsþættina níu sem mögulega þarf að skoða (lóðrétt til vinstri) og hins vegar þær átta viddir þar sem mögulega þarf að leggja mat á áhrif virkunar. Ennfremur sýnir taflan þá þætti sem faghópurinn taldi mikilvægast að leggja mat á miðað við þær forsendur sem áður eru nefndar.

Tafla 5.1	Framkvæmdatími				Rekstrartími			
	Efnahagsgerð		Félagsgerð		Efnahagsgerð		Félagsgerð	
	Stað-bundin	Á landsvísu	Stað-bundin	Á landsvísu	Stað-bundin	Á landsvísu	Stað-bundin	Á landsvísu
Íbúafjöldi	x				x			
Efnahagur	x				x	x		
Vinnumarkaður	x				x			
Húsnæðismarkaður								
Opinber grunngerð					x		x	
Sveitarfélög								
Þjónusta								
Samfélag og lífsstíll			x				x	
Umhverfisgæði			x				x	

Eftir þá vinsun matsþátta sem sjá má í töflunni komst hópurinn enn fremur að þeirri niðurstöðu að samfélagsleg áhrif virkjana mætti smætta niður í aðeins tvo þætti sem í raun væru mælikvarði á þá krafta sem verða til í samfélaginu vegna virkjunarframkvæmda; eru í raun á bakvið þá matsþætti sem mikilvægast er að skoða. Annars vegar er um að ræða áhrif sem kalla má *vinnumarkaðsáhrif*. Hins vegar áhrif sem kalla má *efnahagsáhrif*. Þetta eru þeir grunnkraftar sem svo aftur valda *mögulegum breytingum* á íbúafjölda, húsnæðismarkaði og opinberri grunngerð svo nefnd séu dæmi. Aftur er rétt að ítreka að matinu er eingöngu ætlað að gefa til kynna umfang þessara áhrifa og að niðurstöðuna má ekki túlka sem jákvæða eða neikvæða. Enn fremur að á móti þeim möguleikum til breytinga sem skapast með orkunýtingu koma möguleikar sem tapast vegna þessarar sömu orkunýtingar. Þessir möguleikar eru raunar að stærstu ef ekki öllu leyti fölgirnir í verðmæti náttúrunnar, ýmist í sjálfu sér eða í tengslum við ferðaþjónustu og koma þannig fram í mati faghópa I og II. Faghópur III taldi ekki rétt að leggja með einhverjum hætti sjálfstætt mat á þessa þætti sem fá ítarlega og vandaða umfjöllun í öðrum faghópum.

5.2.3 Matslíkan

Á þeim grunni sem að framan er lýst hefur hópurinn byggt líkan þar sem virkjunarhugmyndum er raðað eftir því hversu mikil eða lítil áhrif þær eru taldar hafa til að koma af stað breytingum á þeim sviðum samfélagsins sem getið er að ofan. Líkanið metur annars vegar vinnumarkaðsleg áhrif og hins vegar efnahagsleg áhrif, hvort um sig bæði staðbundið og á landsvísu. Þannig verða til fjórar innbyrðis raðanir allra tiltækra virkjunarhugmynda sem eru vegnar saman þannig að staðbundin áhrif vega 2/3 og áhrif á landsvísu 1/3. Vinnumarkaður og efnahagsþættir vega hvor um sig helming á staðbundin áhrif og áhrif á landsvísu. Allar þessar raðanir eru gerðar með því að bera saman annars vegar það sem kalla mætti áhrifastærð og hins vegar það sem kalla mætt viðtökustærð. Til að skýra þetta nánar má taka eftirfarandi dæmi.

Staðbundin vinnumarkaðsáhrif

1. *Áhrifastærð*: Hér er byggt á þeirri forsendu að vinnumarkaðsáhrifin séu í beinu hlutfalli við stærð virkjunar. Til einföldunar er forsendan sú að vinnumarkaðsáhrifin séu í réttu hlutfalli uppsett afl virkjunarinnar í MW.
2. *Skipting áhrifa*: Hér þarf að gefa sér forsendu um hvernig vinnumarkaðsáhrifin deilast á einstök landssvæði. Miðað er við að áhrifin deilist milli landssvæða í hlutfalli við framleiðslugetu virkjunar (í gígavattstundum á ári (GWh/a)), íbúafjölda á viðkomandi landssvæði, og fjarlægð frá virkjunarstað að mannfjöldamiðju viðkomandi landssvæðis þar sem bein loftlína hefur verið lengd um 30%. Á grundvelli þessa er sett upp samskiptalíkan⁶¹ þar sem tengsl virkjunar við tiltekið landssvæði eru metin með eftirfarandi hætti:

$$Tengsl = \frac{1}{3} \left(\frac{GWh / a \times \text{Íbúafjöldi}}{1,3 \times \text{fjarlægð}} \right)$$

3. *Viðtökustærð*: Hér er miðað við stærð vinnumarkaðarins á viðkomandi landssvæði.
4. *Staðbundin áhrif*: Hlutdeild viðkomandi landssvæðis í heildaráhrifum er deilt í viðtökustærðina og samanlögð áhrifatala allra landssvæða gefur svo til kynna staðbundin áhrif viðkomandi virkjunar

⁶¹ Samskiptalíkon eru talsvert notuð í hagrænni landfræði til að meta til dæmis samskipti milli bæjarfélaga. Í raun er hér um að ræða þyngdarlögmál Newtons sem yfirfært hefur verið á samskipti í félagslegu rými.

Tökum dæmi af virkjunarhugmynd við Kljáfoss í Borgarfirði og skoðum mat á staðbundnum vinnumarkaðsáhrifum. Út frá stærð og staðsetningu virkjunarinnar og íbúafjölda má meta hvar áætlað er að vinnumarkaðsáhrifin komi fram, samanber líkingu hér að ofan. Miðað við fyrirbyggjandi upplýsingar er niðurstaðan að um 73% af heildar vinnumarkaðsáhrifum Kljáfossvirkjunar muni á endanum koma fram á höfuðborgarsvæðinu. Sú niðurstaða er síðan vegin með stærð verkefnisins (GWh/a) og stærð vinnumarkaðarins þar sem áhrifin koma fram. Samanlögð vegin áhrif gefa mat á staðbundnum vinnumarkaðsáhrifum, sem reynist vera 6,6 í tilfelli Kljáfossvirkjunar. Rétt er að árétta að þessari tölu er ekki ætlað að sýna fjölda starfa sem af virkjuninni leiða, hvorki bein né afleidd. Aðeins má túlka þessa tölu með þeim hætti að virkjun sem fær hærri tölu hefur að jafnaði meiri áhrif en virkjun sem fær lægri tölu.

Staðbundin efnahagsleg áhrif:

1. *Áhrifastærð*: Hér er byggt á þeirri forsendu að efnahagslegu áhrifin séu í beinu hlutfalli við innlendan hluta fjárfestingar á byggingartíma.
5. *Skipting áhrifa*: Hér er miðað við sömu forsendu um skiptingu áhrifa og áður þar sem heildaráhrifatölu virkjunar er skipt í hlutföllum milli landssvæðanna átta með hliðsjón af samskiptalíkani.
6. *Viðtökustærð*: Hér er miðað við stærð vinnumarkaðarins á viðkomandi landssvæði.
7. *Staðbundin áhrif*: Hlutdeild viðkomandi landssvæðis í heildaráhrifum er deilt í viðtökustærðina og samanlögð áhrifstala allra landssvæða gefur svo til kynna staðbundin áhrif viðkomandi virkjunar.

Lítum aftur á dæmið um Kljáfoss í Borgarfirði og skoðum hvernig staðbundin efnahagsleg áhrif hennar eru metin. Eins og áður er gert ráð fyrir að 73% komi í hlut höfuðborgarsvæðisins, að hlutdeild Suðurnesja verði 5% og Vesturlands 9%. Áhrifatala virkjunarinnar, sem er metin út frá áætluðum kostnaði við framkvæmdina, er borin saman við stærð hagkerfisins á ólíkum svæðum. Samanlögð staðbundin efnahagsleg áhrif Kljáfossvirkjunar fyrir öll átta landssvæðin er 1,09. Eins og áður má aðeins túlka þessa tölu með þeim hætti að virkjun sem fær hærri tölu hefur að jafnaði meiri áhrif, eða skapar meiri möguleika til breytinga, en virkjun sem fær lægri tölu.

Að gefnum sambærilegum niðurstöðum fyrir allar virkjunarhugmyndir má nú raða þeim á grundvelli áætlaðra þjóðhagslegra og staðbundinna áhrifa þeirra.

Gagnrýna mætti þessa aðferðafræði á grundvelli þess að mikil áhrif eru ekki endilega jákvæðari en lítil. Slík gagnrýni á fullan rétt á sér. Á hinn bóginn ber að benda á tvennt. Í fyrsta lagi er ástand á íslenskum vinnumarkaði nú um stundir og í fyrirsjáanlegri framtíð með þeim hætti að neikvæð áhrif stórra fjárfestingarverkefna eru líkleg til að vera lítil. Sem dæmi er afar ósennilegt að virkjunarframkvæmdir valdi verulegum neikvæðum þensluáhrifum. Í annan stað ber að hafa í huga að það eru þarfir orkukaupenda sem ráða heildarumfangi fjárfestinga í virkjunum á ákveðnum tíma og ekki stærð einstakra verkefna. Tvö lítil verkefni geta haft sömu áhrif og eitt stórt. Ósanngjarnt væri að refsa stórum verkefnum fyrir stærð sína þegar allar líkur eru á að það verði þarfir orkukaupa sem ráða því hve mikla orku þarf að afla, hvort sem það er gert með fáum stórum eða mörgum litlum virkjunum.

Á Korti 5.1 eru sýnd dæmi af þremur virkjunum þar sem gerð er myndræn grein fyrir skiptingu áhrifa eftir landshlutum; Arnardalsvirkjunar, Hvalárvirkjunar og Grændals. Áætluð orkugeta hverrar virkjunarhugmyndar er táknuð með misstórum hringjum og áhrif á hvern landshluta með missverum línunum. Þar má meðal annars sjá að vegna stærðar sinnar hefur Arnardalsvirkjun merkjanleg áhrif um allt land en einnig að vegna nálægðar við höfuðborgarsvæðið er ósennilegt að áhrifa virkjunar í Grændal gæti annars staðar en á suðvestur horni landsins.

5.3 Niðurstöður

Í töflu 5.2 koma fram lokaniðurstöður faghóps III á röðun virkjunarhugmynda í samræmi við þá aðferðafræði sem lýst er að framan. Efst er sá kostur sem gefur mesta möguleika á breytingum og síðan koll af kolli. Á vefsíðu rammaáætlunar liggja frammi útreikningar allra virkjunarhugmynda í samræmi við aðferðafræði faghópsins

Tafla 5.2 Faghópur III. Lokaröðun virkjunarhugmynda með tilliti til möguleika til breytinga í samfélaginu.

Fremst í röðinni er sú hugmynd sem gefur mesta möguleika á samfélagsbreytingum og síðan koll af kolli.

Röð	Virkjunarhugmynd	Staðarnúmer
1	Arnardalsvirkjun	12
2	Helmingsvirkjun	13
3	Skatastaðavirkjun B	6
4	Skatastaðavirkjun C	7
5	Þeistareykir	102
6	Landmannalaugar	90
7	Kaldaklof	89
8	Kverkfjöll	93
9	Jökultungur	88
10	Blautakvísl	84
11	Askja	94
12	Austur-Reykjadalir	86
13	Ljósártungur	87
14	Vestur-Reykjadalir	85
15	Vonarskarð	92
16	Glámuvirkjun	2
17	Urriðafossvirkjun	31
18	Búlandsvirkjun	40
19	Markarfljótsvirkjun B	23
20	Þeistareykir - Vestursvæði	101
21	Skaftárvirkjun	18
22	Krafla II, 2. áfangi	103
23	Bjarnarflag	97
24	Hrafnabjargavirkjun A	10
25	Fljótshnúksvirkjun	9
26	Hágönguvirkjun, 2. áfangi	104
27	Hvammsvirkjun	29
28	Djúpá	14
29	Grændalur	77
30	Bláfellsvirkjun	33
31	Búðarhálsvirkjun	28

32	Hveravellir	83
33	Norðlingaölduveita - 566-567,5 m y.s.	27
34	Hólmsárvirkjun - miðlun í Hólmsárlóni	20
35	Hólmsárvirkjun - án miðlunar	19
36	Þverárdalur (Ölfusvatnslendur)	75
37	Bitra	74
38	Reykjanes	61
39	Gjástykki	100
40	Hellisheiði	72
41	Hverahlíð	71
42	Holtavirkjun	30
43	Fremrinámar	96
44	Hvalá	4
45	Þverfell	82
46	Kisubotnar	81
47	Haukholtsvirkjun	35
48	Neðri-Hveradalir	80
49	Krafla II, 1. áfangi	99
50	Skaftárveita án miðlunar í Langasjó	17
51	Hverabotn	79
52	Hágönguvirkjun, 1. áfangi	91
53	Búðartunguvirkjun	34
54	Krafla I, - stækkun	98
55	Villinganesvirkjun	8
56	Hólmsárvirkjun neðri	21
57	Vörðufell	36
58	Bjallavirkjun	25
59	Eldvörp (Svartsengi)	63
60	Hestvatnsvirkjun	37
61	Hverfisfljót	15
62	Trölladyngja	65
63	Stóra-Sandvík	62
64	Skrokkölduvirkjun	26
65	Innstidalur	73
66	Gráuhnúkar	70
67	Skaftárveita með miðlun í Langasjó	16
68	Sveifluháls	66
69	Meitillinn	69
70	Austurengjar	67
71	Gýgjarfossvirkjun	32
72	Tungnarlón	24
73	Blönduveita	5

74	Hrúthálsar	95
75	Selfossvirkjun	38
76	Sandfell	64
77	Hagavatnsvirkjun	39
78	Geysir	78
79	Markarfljótsvirkjun A	22
80	Brennisteinsfjöll	68
81	Hvítá í Borgarfirði	1
82	Skúfnavatnavirkjun	3
83	Eyjadalsárvirkjun	11
84	Ölfusdalur	76

5.4 Sérstakar ábendingar frá faghópi III

Megin viðfangsefni faghóps III var að þróa aðferð sem hægt væri að nota til að meta samfélagsleg og þjóðhagsleg áhrif virkjana. Lykilforsenda í erindisbréfi verkefnisstjórnar er að virkjunarhugmyndum sé raðað. Í þeirri vinnu lagði hópurinn áherslu á að finna aðferð sem unnt væri að beita, miðað við þau gögn og rannsóknir sem voru fyrirbyggjandi meðan á vinnunni stóð, og tæki á þeim þáttum sem búast má við að verði með ólíkum hætti í virkjunum.

Afraksturinn er líkan sem nota má til að áætla umfang samfélagslegra áhrifa einnar virkjunar í samanburði við aðra, án þess að matið verði yfirfært á neinn algildan kvarða. Sú mynd sem fæst á þennan hátt er ekki mjög nákvæm. Í vinnu faghópsins var mjög stuðst við rannsóknir sem Hagfræðistofnun Háskóla Íslands hefur gert á efnahagslegum áhrifum stóriðju á Íslandi sem og rannsóknir fræðimanna við Háskólann á Akureyri á samfélagslegum áhrifum stóriðju framkvæmda á Austurlandi. Takmarkaðri upplýsingar er hins vegar að hafa um langtímaáhrif virkjana í sínu nánasta umhverfi.

5.5 Tillögur um frekari rannsóknir

Samanburðarrannsóknir til að meta ýmis staðbundin og óáþreifanleg samfélagsáhrif.

Þörf er á samanburðarrannsóknum þar sem reynt yrði að meta ýmis staðbundin og óáþreifanleg samfélagsáhrif virkjana. Fjöldmörg dæmi eru um að virkjanir hafi skilið eftir djúp spor í samfélagið í sínu nánasta umhverfi þar sem jafnvel hefur ekki gróið um heilt milli manna eftir deilur. Vera kann að slíkt sé óhjákvæmilegur fylgifiskur allra slíkra framkvæmda og komi fram sama hvar virkjað er og hver svo sem tilhögun mannvirkja er. Hitt er þó algengara að virkjanir hafi orðið lyftistöng fyrir nærsamfélagið. Betri þekking á þessum þætti orkunýtingar væri bæði mikilvægt framlag til frekari vinnu við rammaáætlun og kæmi enn fremur mjög til góða þeim samfélögum sem í framtíðinni þurfa að takast á við spurningar um hvort og hvernig eigi að nýta þá orku sem er til staðar í þeirra heimabyggð.

6 Aðferðafræði og niðurstöður faghóps IV

6.1 Verkefni og skipan faghópsins

Faghópi IV var falið óbreytt verkefni frá 1. áfanga rammaáætlunar: „að skilgreina þá kosti sem fyrir hendi kunna að vera til að nýta vatnsorku og jarðhita til raforkuvinnslu, meta afl, orkugetu og líklegan orkukostnað hvers þeirra og forgangsraða eftir hagkvæmni.“ Það var því í verkahring þessa faghóps að skilgreina þær virkjunarhugmyndir sem aðrir faghópar tóku afstöðu til.

Skipan hópsins var með þeim hætti að Guðni A. Jóhannesson, orkumálastjóri, var formaður en auk hans áttu þar sæti Agnar Olsen, staðgengill forstjóra Landsvirkjunar, Guðmundur Þóroddsson, framkvæmdastjóri Reykjavík Geothermal, Jakob Sigurður Friðriksson, framkvæmdastjóri framleiðslu og sölu hjá Orkuveitu Reykjavíkur, Ómar Örn Ingólfsson, sviðsstjóri vatnsaflssviðs verkfræðistofunnar Mannvits og Edda Rós Karlsdóttir, hagfræðingur, sem dró sig í hlé í apríl 2009.

6.2 Aðferðafræði

6.2.1 Virkjunarhugmyndir

Frá upphafi var ljóst að umfjöllun 2. áfanga rammaáætlunar myndi ná til fleiri virkjunarhugmynda en verið hafði raunin í 1. áfanga. Áhersla 1. áfanga var á virkjunarhugmyndir í jökulám, einkum þær sem þurftu miðlunarlón á hálendinu, og jarðvarmavirkjanir nærri byggð. Í 2. áfanga var faghópi IV ætlað að fjalla á ný um margar vatnsaflshugmyndir sem teknar höfðu verið með í 1. áfanga en ekki síður nýjar hugmyndir í vatnsaflum sem litið höfðu dagsins ljós, auk þess að leggja mat á jarðvarmahugmyndir á háhitasvæðum sem 1. áfangi hafði lítil tækni á að meta til fulls sökum gagnaskorts.

Rammaáætlun er aðeins ætlað að taka til mats virkjunarhugmynda þar sem afl er meira en 10 MW. Minni hugmyndir, allt niður í 5 MW, voru lauslega kannaðar og ákveðið að bæta við einni hugmynd sem var aflminni en þetta viðmið (Skúfnavatnavirkjun við Ísafjarðardjúp, áætlað afl 8,5 MW).

Þegar upp var staðið taldi listi faghópsins 40 vatnsaflshugmyndir, þar af fjórar veituhugmyndir sem ekki kölluðu á byggingu nýrra virkjana. Af þeim höfðu 14 komið til kasta 1. áfanga en hönnun og útfærslu sumra hafði verið breytt. Í nokkrum tilfellum var um að ræða ólíkar hugmyndir í sama fallvatni þar sem ein útilokaði aðra.

Listi faghóps IV tók einnig til 44 jarðvarmahugmynda á 20 háhitasvæðum eða um helmingi fleiri hugmynda en skoðaðar höfðu verið í 1. áfanga (21 hugmynd).

6.2.2 Mat á orkugetu háhitasvæða

Enda þótt þekkingu og rannsóknum á háhitasvæðum hafi fleytt fram frá lokum 1. áfanga rammaáætlunar 2003 hafði afkastageta margra óraskaðra svæða ekki verið metin í ljósi nýjustu mælinga. Að tilhlutan faghóps IV myndaði Jónas Ketilsson, jarðhitasérfræðingur á Orkustofnun, vinnuhóp til að leggja mat á vinnslugetu þekktra háhitasvæða landsins til raforkuframleiðslu. Til liðs við hópinn gengu þau Héðinn Björnsson, Sæunn Halldórsdóttir og Guðni Axelsson sem öll eru sérfræðingar á sviði jarðvarma hjá Ísor.⁶²

Tafla 6.1 Stærð háviðnámskjarna og áætlað afl einstakra þekktra háhitasvæða miðað við 50 ára vinnslutíma.

Svæði	Stærð*** (km ²)	Hágildi	Miðgildi	Lággildi
		MW ₅₀	MW ₅₀	MW ₅₀
Reykjanes*	9	81	45	27
Svartsengi-Eldvörp	30	270	150	90
Krýsuvík	89	801	445	267
Brennisteinsfjöll	5	45	25	15
Hengill	142	1278	710	426
Geysir*	5	45	25	15
Kerlingarfjöll	39	351	195	117
Hveravellir*	14	126	70	42
Torfajökull	253	2277	1265	759
Hágöngur	43	387	215	129
Vonarskarð	29	261	145	87
Kverkfjöll**	31	279	155	93
Askja	27	243	135	81
Hrúthálsar**	4	36	20	12
Fremrinámar	10	90	50	30
Krafla-Námafjall	62	558	310	186
Gjástykki	11	99	55	33
Þeistareykir	48	432	240	144
Samtals	851	7659	4255	2553

* Viðnámsmælingar miða við lágviðnámskápu á sama dýpi þar sem háviðnámskjarni kom ekki fram.

** Viðnámsmælingar ekki til staðar og því byggir flatarmál á yfirborðsummerkjum.

*** Flatarmál byggir á viðnámsmælingum og útbreiðslu yfirborðsummerkja hvers svæðis sbr. skýrslu vinnuhóps.

Mat sitt byggði hópurinn á yfirgripsmiklum viðnámsmælingum en með slíkum mælingum má afmarka háviðnámskjarna djúpt í jörðu á jarðhitasvæðum þar sem hitastig hefur náð yfir 230°C. Líkindadreifing flatarvinnslugetu innan slíkra háviðnámskjarna á háhitasvæðum var áætluð með samanburði við fjögur þekkt háhitasvæði sem nýlega hafa verið metin með marktækari

⁶² Jónas Ketilsson, Héðinn Björnsson, Sæunn Halldórsdóttir og Guðni Axelsson, 2009. *Mat á vinnslugetu háhitasvæða*. Orkustofnun, skýrsla OS-2009/09, 16 bls.

rúmmálsaðferð: Hengli, Kröflu, Námafjalli og Þeistareykjum. Samkvæmt meðaltali fyrir þessi svæði eru 95% líkur á því að vinna megi 3 MW rafafls samfellt í 50 ár úr hverjum ferkílómetra af afmörkuðu háhitasvæði (lággildi), 50% líkur á að vinna megi 5 MW (miðgildi) og 5% að vinna megi 9 MW (hálgildi) (sjá töflu 6.1). Meðalflatarvinnslugeta þessara svæða var síðan yfirfærð á önnur háhitasvæði. Með samanburði við mat Orkustofnunar frá 1985 kemur í ljós að samanlagt flatarmál háhitasvæðanna stækkar úr 480 km² í 850 km² eða um 75%. Ef notað er miðgildi hækkar þannig áætlað rafafl á þekktum háhitasvæðum landsins til 50 ára úr 3.300 MW_e í 4.255 MW_e (30% aukning). Skýrsluhöfundar taka fram að matið taki ekki mið af verndarsjónarmiðum heldur fullri nýtingu svæðanna. Skýrsla vinnuhópsins er á vef Orkustofnunar (www.os.is).

Í áliti starfshóps um sjálfbæra þróun og nýtingu jarðhita (sbr. grein 2.3.3) var um það rætt að jarðhitanytingin teldist sterkt sjálfbær ef unnt væri að viðhalda óbreyttu vinnslustigi í að minnsta kosti 100 ár. Hér er hins vegar miðað við 50 ár samkvæmt venju um afskriftatíma jarðhitavirkjana.

6.2.3 Samkeppnisumhverfi og hagkvæmnimat

Árið 2003 voru samþykkt á Alþingi ný raforkulög (lög nr. 65/2003). Megininntak laganna var aðskilnaður framleiðslu, flutnings, dreifingar og sölu raforku og innleiðing samkeppni á raforkumarkaði en lögin tóku að fullu gildi í ársbyrjun 2006. Umhverfi íslensks raforkumarkaðar gerbreyttist með gildistöku þessara laga sem m.a. hafði veruleg áhrif á aðferðafræði faghóps IV í 2. áfanga rammaáætlunar.

Í 1. áfanga hafði faghópur IV frjálsar hendur um að afla upplýsinga og meta kostnað við hönnun og framkvæmdir virkjunarmannvirkja. Aðferðafræðin byggði á áætluðum stofnkostnaði og núvirtum hagnaði af rekstri virkjunar á afskriftartíma samkvæmt viðurkenndum og hefðbundnum aðferðum. Kostnaðarforsendur voru flestar uppi á borðum enda laut raforkumarkaður í meginráttum opinberri forsjá og eftirliti. Mat faghópsins á hagkvæmni virkjunarframkvæmda tók þannig bæði tillit til framkvæmda- og rekstrarkostnaðar.

Um leið og samkeppni var innleidd á innlendum raforkumarkaði urðu orkufyrirtæki treg til að veita nákvæmar upplýsingar um stefnu sína, aðferðir og kostnaðar- og arðsemisútreikninga. Af þessum sökum kallaði faghópur IV ekki eftir fjárhagslegum upplýsingum frá orkufyrirtækjum. Í samkeppnisumhverfi er arðsemi rekstrar og mat á rekstrarhættu á valdi orkufyrirtækjanna sjálfra. Faghópur IV ákvað því að taka ekki tillit til rekstartíma virkjana við hagkvæmnismat heldur líta aðeins til stofnkostnaðar.

Samband var haft við þau orkufyrirtæki landsins sem vitað var að hafa virkjunarframkvæmdir á þróunum og þeim boðið að tilnefna hugmyndir sem þau vildu láta meta. Virkjunaráform voru komin mjög mislangt á leið, allt frá lauslegum hugmyndum með lágmarks gögnum og upp í fullhannaðar virkjanir sem höfðu gengist undir mat á umhverfisáhrifum og voru jafnvel komnar á framkvæmdastig. Gögn um þessar virkjanir voru eðlilega mun ítarlegri en þörf var á fyrir mat rammaáætlunar en æskilegt þótti samt að hafa þær með í mati til samanburðar. Listi yfir þessar virkjunarhugmyndir fer hér á eftir. Faghópurinn hafði einnig samráð við Orkustofnun um fleiri hugmyndir sem talið var að áhugi væri fyrir hendi að kanna til hlítar.

Faghópurinn skilgreindi sex hagkvæmniflokka (sjá neðar) og lagt var fyrir orkufyrirtækin að

reikna út stofnkostnað virkjunarhugmynda sem þau höfðu beint sjónum að og raða þeim í hagkvæmniflokk. Orkustofnun annaðist útreikninga á hagkvæmni þeirra hugmynda sem ekki voru á forræði einstakra orkufyrirtækja og naut til þess aðstoðar verkfræðistofunnar Mannvits.

Til að tryggja samræmi í útreikningum lagði faghópurinn orkufyrirtækjunum til reikniðferð og afréð að útreikningar miðuðust við gengisskráningu í janúar 2009. Jafnframt féllust orkufyrirtækin á að óháður sérfræðingur Orkustofnunar gæti kallað eftir nákvæmum upplýsingum um einstaka hagkvæmniútreikninga sem faghópurinn teldi orka tvímælis. Slík tilfelli komu ekki upp. Að tilhlutan faghópsins tók Mannvit að sér að meta kostnað við byggingu nýrra virkjana til að hafa til viðmiðunar við innsendar kostnaðartölur orkufyrirtækja og nota í útreikningum Orkustofnunar á öðrum virkjunarhugmyndum. Mannvit byggði mat sitt á raunkostnaði nýjustu virkjana hér á landi. Niðurstaða þessa mats var að kostnaður við byggingu vatnsaflsvirkjanar væri á bilinu 2,2-3,3 milljónir bandaríkjadala (\$) á hvert megawatt afls háð stærð virkjunar* og um 2,5 milljónir bandaríkjadala (\$) þegar í hlut ættu jarðvarmavirkjanir. Stærri vatnsaflsvirkjanir eru að jafnaði með lægri kostnað pr. afleiningu (MW). Bent skal á að hér er um að ræða meðaltalstölur en raunkostnaður við einstakar virkjanir getur verið mjög mismunandi eftir aðstæðum. Vatnsaflsvirkjanir krefjast t.d. mismikillar jarðvinnu, þurfa mismunandi stíflur og lónstæði, vegagerð og aðflutningsleiðir, o.s.frv. Þegar jarðvarmavirkjanir eiga í hlut skiptir auk þess verulegu máli kostnaður við rannsóknarboranir, borun nýrra vinnsluholna og förgun yfirborðsvatns og spilliefna.

Hagkvæmniflokkar faghóps IV byggðu á hlutfalli stofnkostnaðar virkjunar í íslenskum krónum og orkugetu, þ.e. fjölda orkueininga sem hún framleiðir á ári:

1. Undir 27 kr/(kWh/ár)
2. 27-33 kr/(kWh/ár)
3. 33-40 kr/(kWh/ár)
4. 40-53 kr/(kWh/ár)
5. 53-66 kr/(kWh/ár)
6. Yfir 66 kr/(kWh/ár)

Að beiðni faghópsins tók Sveinbjörn Björnsson, formaður verkefnisstjórnar 1. áfanga rammaáætlunar, að sér að draga saman lýsingar á einstökum virkjunarhugmyndum sem byggðar voru á skýrslum frá orkufyrirtækjum, Ísor og Orkustofnun. Um sumar virkjunarhugmyndir lágu fyrir afar takmarkaðar upplýsingar. Mat annarra faghópa byggði á þessum lýsingum sem eru á vef rammaáætlunar (www.ammaaaetlun.is)

6.2.4 Tengikostnaður virkjana

Þegar litið er til nýrra virkjana skiptir tenging þeirra við dreifikerfi verulegu máli. Bæði er um að ræða verulegan kostnaðarlið og við mat á umhverfisáhrifum er mjög litið til legu raflína. Faghópur IV áætlaði tengikostnað virkjunarhugmynda við flutningskerfi raforku eða til notkunarstaðar með hliðsjón af líklegri lengd háspennulína og þeim tengibúnaði sem til þarf.

Raforkuflutningskerfi landsins er í höndum Landsnets sem ber ábyrgð á lagningu raflína frá nýjum virkjunum að meginlínunum eða beint til stórnotenda. Í fæstum tilfellum lágu fyrir áætlanir um tengingu nýrra virkjunarhugmynda sem rammaáætlun var með til mats og tillögur um legu raflína í hverju tilfelli þurftu tímafreka og kostnaðarsama undirbúningsvinnu. Landsnet var

Því ekki í aðstöðu til að leggja fram upplýsingar til að meta tengikostnað virkjunarhugmynda. Eitt hlutverk faghóps IV var þó að meta tengikostnað með tilliti til áhrifa á hagkvæmni og einnig skyldi faghópurinn leggja fram grunnhugmyndir að línustæðum sem aðrir faghópar tóku afstöðu til. Þar sem ekki lágu fyrir áætlanir um tengingu virkjunarhugmynda rammaáætlunar hjá Landsneti varð faghópurinn að velja aðferðir sem gæfu hugmynd um tengikostnað og -línustæði. Í töflum 2.1 og 2.2 er tengikostnaður tilgreindur sérstaklega fyrir hverja virkjun eins og hann var notaður við röðun virkjana innan hagkvæmniflokka.

Aðferðafræði vegna raflínulagna byggðist á eftirfarandi forsendum:

- a) Landsnet lét í té upplýsingar um staðsetningu núverandi og áætlaðra tengivirkja. Raflínur frá nýjum virkjunum liggja á milli tveggja tengivirkja; annað er staðsett í eða við stöðvarhús virkjunar og hitt á viðtökustað, annað hvort þar sem raforkan sameinast megin flutningskerfinu eða á notkunarstað.
- b) Mæld var bein loftlína frá áætluðum virkjunarstað að því tengivirki sem næst stóð óháð landsháttum eða náttúrufari að undanskildum augljósum hindrunum, s.s.erfiðu fjalllendi, að viðbættu 30% fráviki til að gera ráð fyrir líklegum krókaleiðum vegna landshátta, viðkvæmra svæða og landslagsheilda.
- c) Tengikostnaður var síðan reiknaður samkvæmt neðangreindri töflu sem verkfræðistofan Mannvit setti upp. Í öllum tilfellum miðuðust útreikningar við loftlínur (ekki jarðstrengi). Eftirfarandi dæmi sýnir reikniaðferðina. Miðað er við virkjun með 120 MW afl og 8000 klst. nýtingartíma á ári. Orkugetan er þá 960 GWh á ári ($120 \text{ MW} \times 8000 \text{ klst.} / 1000$). Raflína frá virkjun í beinni loftlínu að tengivirki að viðbættu 30% fráviki er 90 km. Tengivirkið er með þrjú spennusvið: 66 kV, 132 kV og 220 kV, en ódýrast er að tengjast 132 kV sviðinu (ber mest 150 MW). Kostnaður við línu og tengingu er þannig: $90 \text{ km} \times 30 \text{ millj. kr.} + 200 \text{ millj. kr.} = 2.900 \text{ millj. kr.}$ Að teknu tilliti til kostnaðar á hvert kílówatt framleiddrar orku verður tengikostnaðurinn þess vegna um það bil 3 kr. kWh/ár. ($2.900.000.000 \text{ kr} / 960.000.000 \text{ (kWh/ár)} = 3,02 \text{ kr/(kWh/ár)}$). Til samanburðar er stofnkostnaður virkjana í flokki 2 27-33 kr/(kWh/ár).
- d) Allar virkjunarhugmyndirnar voru metnar sem sjálfstæðar einingar í hagkvæmnimati tengikostnaðar. Til framtíðar má hins vegar ætla að klasar virkjana – þ.e. virkjanir sem standa nærri hverri annarri – muni njóta hagkvæmni með sameiginlegri tengingu við dreifikerfið/notkunarstað. Af þeim sökum voru lögð fyrir aðra faghópa kort er sýndu samtengda virkjunarklasa með einni megingtengingu við dreifikerfið. Þau vinnukort liggja frammi á vefsíðu rammaáætlunar.

Mat annarra faghópa tók mið af hinni grófu mynd sem faghópur IV dró upp af línustæðum. Í mörgum tilfellum er augljóst að uppgefin línustæði eru fyrsta tilgáta. Áður en línustæði eru endanlega ákveðin fer fram umfangsmikil rannsóknavinna á vegum Landsnets og fyrirhuguð línustæði munu ávallt vera gaumgæfð í mati á umhverfisáhrifum og af skipulagsyfirlöndum sveitarfélaga. Kort sem sýna tilgátur faghóps IV um línustæði liggja frammi á vefsíðu rammaáætlunar.

Tafla 6.2 Verðforsendur kostnaðarútreikninga vegna raflínutenginga virkjunarhugmynda við flutningskerfi Landsnets. Uppsetning: Verkfræðistofan Mannvit.

Mannvirki	Spenna kV	Mesti flutningur MW	Strengur/ loftlína Mkr/km	Tenging í tengivirki Mkr	Athugasemd við strengi og línur	Athugasemd við tengivirki*
Jarðstrengur	66 kV	50	15	100	Strengur er 800 mm ² (3 einleiðarar)	M.v. AIS innandyr (útdraganlegt)
Loftlína	132 kV	150	30	200	1/3 stálmöstur, 2/3 trémöstur, simplex	M.v. GIS tengivirki
Loftlína	220 kV	500	50	300	M-möstur, simplex	M.v. GIS tengivirki
Loftlína	(400 kV)	1.300	75	600	V-möstur, duplex	M.v. GIS tengivirki

6.3 Niðurstöður

Þessari umfjöllun um starf faghóps IV lýkur með forgangsröðun hópsins samkvæmt hagkvæmni virkjunarhugmynda og þeirri aðferðafræði sem lýst er að framan. Niðurstaðan er birt í töflu 6.3. Flokkunin byggir á þeim 6 hagkvæmniflokkum sem gerð hefur verið grein fyrir og innan hvers flokks er einstökum hugmyndum raðað eftir áætluðum tengikostnaði.

Tafla 6.3 Faghópur IV. Niðurstaða faghóps IV á hagkvæmnisröð virkjunarhugmynda. Meginröðun ræðst af hagkvæmniflokki (þeir hagkvæmustu efst) en innan hvers hagkvæmniflokks ræður tengikostnaður röð.

Röð	Virkjunarhugmynd	Staðar- númer	Hagkvæmni- flokkur	Tengi- kostnaður Kr/kWh/a	OS ¹
1	Skaftárveita með miðlun í Langasjó	16	1	-	
2	Tungnaárlón	24	1	-	
3	Norðlingaölduveita - 566-567,5 m y.s.	27	1	-	
4	Urriðafossvirkjun	31	2	0,40	
5	Þeistareykir	102	2	0,41	
6	Arnardalsvirkjun	12	2	0,60	x
7	Krafla I, - stækkun	98	2	0,63	
8	Bjarnarflag	97	2	0,70	
9	Krafla II, 2. áfangi ²	103	2	0,81	
10	Búlandalsvirkjun	40	2	1,50	
11	Krafla II, 1. áfangi	99	2	1,63	
12	Sveifluháls	66	2	1,79	
13	Þeistareykir-Vestursvæði	101	2	1,95	

14	Austurengjar	67	2	2,32	
15	Hágönguvirkjun, 2. áfangi ²	104	2	3,00	
16	Skaftárveita án miðlunar í Langasjó	17	2	-	
17	Reykjanes	61	2,5	0,74	
18	Ölfusdalur	76	2,5	0,97	
19	Stóra-Sandvík	62	2,5	1,39	
20	Hellisheiði	72	3	0,38	
21	Innstidalur	73	3	0,44	
22	Þverárdalur (Ölfusvatnslundur)	75	3	0,48	
23	Grændalur	77	3	0,48	
24	Selfossvirkjun	38	3	0,53	x
25	Hverahlöð	71	3	0,54	
26	Bitra	74	3	0,62	
27	Meitillinn	69	3	0,85	
28	Eldvörp (Svartsengi)	63	3	0,91	
29	Gráuhnúkar	70	3	0,92	
30	Skatastaðavirkjun B	6	3	1,24	
31	Bjallavirkjun	25	3	1,35	
32	Búðarhálsvirkjun	28	3	1,45	
33	Trölladyngja	65	3	1,46	
34	Landmannalaugar	90	3	1,51	x
35	Blautakvísl	84	3	1,52	x
36	Vestur-Reykjadalir	85	3	1,64	x
37	Austur-Reykjadalir	86	3	1,67	x
38	Gjástykki	100	3	1,71	
39	Hrafnabjargavirkjun A	10	3	1,72	x
40	Skaftárvirkjun	18	3	1,78	
41	Sandfell	64	3	1,92	
42	Kaldaklof	89	3	2,00	x
43	Ljósártungur	87	3	2,01	x
44	Jökultungur	88	3	2,10	x
45	Geysir	78	3	2,55	x
46	Askja	94	3	2,81	x
47	Hólmsárvirkjun - miðlun í Hólmsárlóni	20	3	3,20	
48	Brennisteinsfjöll	68	3	3,63	x
49	Hólmsárvirkjun - án miðlunar	19	3	3,74	
50	Hólmsárvirkjun neðri	21	3	4,18	
51	Vonarskarð	92	3	4,67	x
52	Hveravellir	83	3	4,72	x
53	Kverkfjöll	93	3	5,03	x
54	Kisubotnar	81	3	5,06	x

55	Neðri-Hveradalir	80	3	5,29	x
56	Hverabotn	79	3	5,37	x
57	Fremrinámar	96	3	5,53	
58	Þverfell	82	3	5,64	x
59	Hágönguvirkjun, 1. áfangi	91	3	7,51	
60	Hrúthálsar	95	3		x
61	Helmingsvirkjun	13	4	0,24	x
62	Hvammsvirkjun	29	4	0,69	
63	Holtavirkjun	30	4	0,80	
64	Djúpá	14	4	1,19	x
65	Skatastaðavirkjun C	7	4	1,43	
66	Villinganesvirkjun	8	4	1,51	
67	Hestvatnsvirkjun	37	4	1,74	x
68	Búðartunguvirkjun	34	4	1,88	x
69	Haukholtsvirkjun	35	4	1,90	x
70	Markarfljótsvirkjun B	23	4	2,35	x
71	Bláfellsvirkjun	33	4	2,65	x
72	Blönduveita	5	4	2,66	
73	Hverfisfljót	15	4	2,68	x
74	Skrokkölduvirkjun	26	4	10,30	
75	Glámuvirkjun	2	5	2,07	
76	Eyjadalsárvirkjun	11	5	4,28	x
77	Hvítá í Borgarfirði	1	5	5,52	
78	Hvalá	4	5	5,65	
79	Hagavatnsvirkjun	39	5	6,14	
80	Markarfljótsvirkjun A	22	5	17,85	x
81	Vörðufell	36	5	2,04	x
82	Fljótshnúksvirkjun	9	5	6,01	x
83	Skúfnavatnavirkjun	3	5	18,17	x
84	Gýgjarfossvirkjun	32	5	21,50	x

¹ Útreikningur Orkustofnunar.

² Að því gefnu að 1.áfangi virkjunarinnar sé lokið.

6.4 Staða virkjunarhugmynda í apríl 2011

Til þess að geta metið hve mikið afl og orkugeta verður til ráðstöfunar í næstu framtíð var gerð könnun meðal orkufyrirtækja á því hvort forsendur eða áætlanir um nýtingu einstakra svæða hefðu breyst frá því að gagna var aflað. Svör Orkuveitu Reykjavíkur, HS Orku, Landsvirkjunar, Rarik, Selfossveitna og Suðurorku fara hér á eftir í Töflu 6.4. Einnig bárust upplýsingar frá Íslenskri Vatnsorku ehf sem er aðili að Selfossvirkjun og leitar samninga um kaup á hlut í Hagavatnsvirkjun og Villinganesvirkjun. Auk þess vinnur Íslensk Vatnsorka að ýmsum verkefnum sem ekki voru til mats í 2. áfangi, m.a. í Brúará (6 MW), Skjálfandafljóti (6 MW) og breytttri útfærslu Hestvatnsvirkjunar (26 MW).

Tafla 6.4 Svör Orkuveitu Reykjavíkur										
Staðar-númer	Heiti	Uppsett afl í MW	Orkuvinnslu-mat GWh/ár	Stofn-kostnaðar-flokkur	Stig virkjunar	Leyfi	Vissa um orkugetu	Línur og tengingar	Áfanga-skipting	Kostnaðar-flokkur
1	Hvítá í Borgarfirði	20	125	5	Frumathugun	-	65%	-	-	Óbr.
39	Hagavatnsvirkjun	20	140	5	Forathugun	Rannsóknarleyfi	85%	Hugmynd	Einn áfangi	Óbr.
68	Brennisteinsfjöll	25	200	3	Frumathugun	Umsókn um rannsóknarleyfi	35%	-	-	-
69	Meitillinn	45	369	3	Frumathugun		35%	-	-	-
70	Gráuhnúkar	45	369	3	MÁU frummatsskýrsla	Rannsóknarleyfi - Aðalskipulag	65%	Útfært	Einn áfangi	Óbr.
71	Hverahlöð	90	738	3	MÁU lokið að hluta	Aðalskipulagi lokið að hluta	85%	Útfært	Einn áfangi	Óbr.
72	Hellisheiði	90	738	3		Virkjun verður gangsett innan 3 - 6 mánaða				
73	Innstidalur	45	369	3	Frumathugun		50%	-	-	Óbr.
74	Þittra	90	738	3	MÁU lokið	Aðalskipulagi frestað	50%	Útfært	Einn áfangi	Óbr.
75	Þverárdalur (Ölfusvatnslendur)	90	738	3	Frumathugun	Rannsóknarleyfi	35%	-	-	Óbr.
76	Ölfustalur	10	82	2,5						
77	Grændalur	120	984	3	Frumathugun	Umsókn um rannsóknarleyfi	50%	Hugmynd	-	-

Tafla 6.4 Svör Rarík					
Staðar-númer	Heiti	Uppsett afl í MW	Orkuvinnslu-mat GWh/ár	Stofn-kostnaðar-flokkur	Athugasemdir
8	Villinganesvirkjun	33	215	3	Verkhönnun lauk á árinu 2000 og mati á umhverfisáhrifum 2002 með jákvæðri niðurstöðu. Endurskoðun kostnaðar sýnir að hún er í stofnkostnaðarflokki 3 í stað 4 áður. Afl er óbreytt 33 MW hér en orkuvinnsla um 215 GWh/ári miðað við að engin virkjun með miðlun sé ofar á vatnasviðinu en amk. 250 GWh/ári ef slík virkjun er komin. Hér er um að ræða nýtt mat á orkuvinnslu virkjunarinnar miðað við hagstæðari aðstæður en áður voru þ.e.s. aukð rennsli og hagstæðari markaður.
19	Hólmsárvirkjun - án miðlunar	72	450	3	Rannsóknarleyfi liggur fyrir.
20	Hólmsárvirkjun - miðlun í Hólmsarlóni	72	470	3	Rannsóknarleyfi liggur fyrir.
21	Hólmsárvirkjun neðri	65	480	3	Rannsóknarleyfi liggur fyrir. Frumhönnun lauk í desember 2010 og skv. henni verður uppsett afl amk. 65 MW og orkuvinnsla 480 GWh/ári. Mat á umhverfisáhrifum er hafið (matsáætlun) og verkhönnun fer af stað á þessu ári. Stefnt er að því að sækja um virkjunarleyfi síðla árs 2012 og að gangsetning verði 2016-17. Hér er á ferðinni aðal virkjunarkostur Orkusölunnar ehf. og orkan ætluð til almenningsnota í landinu.

Tafla 6.4 Svör HS Orku

Staðar-númer	Heiti	Uppsett afi í MW	Orkuvinnslu-mat GWh/ár	Stofn-kostnaðar-flokkur	Stig virkjunar
61	Reykjanes	80	568	2,5	Beiðni um virkjunarleyfi fyrir 50 MW + 30 MW (lagþrýstivél) = 80 MW stækkun liggur hjá Orkustofnun. Mat á umhverfisáhrifum samþykkt. Orkuvinnslugeta er nokkuð vel þekkt: Jarðeðlisfræðismælingar á yfirborði hafa verið gerðar. Hita-, þrýstings- og efnafraðismælingar liggja fyrir. Gervitunglamælingar á landhæðarbreytingum liggja fyrir. Líkanreikningar hafa verið gerðir. Orkuöflun fyrir 30 MW lagþrýstivirkjunina (þækliverið) fæst úr jarðhitaþvökva sem nú er veitt til sjávar. Tvær ótengdar borholur eru til staðar sem gefa um 12,5 MW fyrir 50 MW hverflinn (um 25%). Vísað er til Landsnets með háspennulínur og aðveitustöðvar. Tveir byggingarárfangar, útboðshómnun tilbúin: 1. 50 MW, framleiðsla gæti hafist um tveimur árum eftir útgáfu virkjunarleyfis, 2. 30 MW, framleiðsla gæti hafist um 3 árum eftir útgáfu virkjunarleyfis. Sölusamningur í óvissu (Norðurl).
62	Stóra-Sandvík	50	410	2,5	Svæðið á aðalskipulagi Reykjanesbæjar. Viðnámsmælingar hafa verið gerðar. Þyngdar- og landmælingar, ásamt gervitunglamælingum á landhæðarbreytingum liggja fyrir. Orkuvinnslugeta ekki þekkt. Reynist svæðið gjörfult gæti framleiðsla hafist eftir 5-8 ár. Ramsóknarleyfi ekki til staðar. Nýtingarleyfi ekki til staðar. Virkjunarleyfi ekki til staðar.
63	Eldvörp (Svartsengi)	50	410	3	Grindavíkurbær að leggja loka hönd á nýtt aðalskipulag. Orkuvinnslugeta er nokkuð vel þekkt: Jarðeðlisfræðismælingar á yfirborði hafa verið gerðar og hita-, þrýstings- og efnafraðismælingar liggja fyrir. Gervitunglamælingar á landhæðarbreytingum liggja fyrir. Líkanreikningar hafa verið gerðir. Vísað er til Landsnets með háspennutengingu og aðveitustöðvar. Gert er ráð fyrir 50 MW virkjun í einum áfanga sem hafið gæti rekstur eftir um 3-4 ár. Ramsóknarheimild til staðar. Nýtingarheimild til staðar. Virkjunarleyfi ekki til staðar. Sölusamningur í óvissu.
64	Sandfell	50	410	3	Viðnámsmælingar hafa verið gerðar og 3D lokaúrvinnsla hafin. Boruð hefur verið ein grónn og grunn könnunarhola. Orkuvinnslugeta ekki þekkt. Háspennutenging á vegum Landsnets. Framleiðsla gæti hafist eftir um 5-10 ár. Ramsóknarleyfi til des. 2016. Nýtingarleyfi ekki til staðar. Virkjunarleyfi ekki til staðar.
65	Trölladyngja	50	410	3	Boraðar hafa verið tvær háhitaholur og gefur önnur um 3-4 MW rafafi. Frekari boranir eru fyrirhugaðar. Jarðeðlisfræðismælingar hafa verið gerðar. Hita-, þrýstings- og efnafraðismælingar hafa verið gerðar. Orkuvinnslugeta ekki vel þekkt. Landsnet sér um háspennulínur og aðveitustöðvar. Orkuframleiðsla gæti hafist eftir 5-10 ár. Ramsóknarleyfi til des. 2016. Nýtingarleyfi ekki til staðar. Virkjunarleyfi ekki til staðar.
66	Sveifluháls	50	410	2	Jarðfræðikortlagning á lokastigi, viðnámsmælingar gerðar, jarðskálftamælingar gerðar, greining yfirborðsgufu gerð o.fl. Orkuvinnslugeta ekki þekkt. Háspennutenging á hendi Landsnets. Framleiðsla gæti hafist eftir um 5 ár. Fyrsti áfangi virkjunar er áætlaður 50 MW. Ramsóknarleyfi til des. 2016. Nýtingarleyfi ekki til staðar. Virkjunarleyfi ekki til staðar.
67	Austurengjar	50	410	2	Jarðfræðikortlagning á lokastigi, viðnámsmælingar gerðar, jarðskálftamælingar gerðar, greining yfirborðsgufu gerð o.fl. Orkuvinnslugeta ekki þekkt. Háspennutenging á hendi Landsnets. Framleiðsla gæti hafist eftir um 5 ár. Fyrsti áfangi virkjunar er áætlaður 50 MW. Ramsóknarleyfi til des. 2016. Nýtingarleyfi ekki til staðar. Virkjunarleyfi ekki til staðar.
68	Brennisteinsfjöll	25	200	3	HS Orka hyggur ekki á virkjun Brennisteinsfjalla að svo stöddu.

Tafla 6.4 Svör Landsvirkjunar

Staðar- númer	Heiti	Uppsett afl í MW	Orkuvinnslu- mat GWh/ár	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
5	Blönduveita	28	180	4	Gert er ráð fyrir að nýta nánast allt fallið frá miðlunarlóni í inntaksión. Unnið að frumhönnun. Fyrsta gangsetning 2016.
6	Skatastaðavirkjun B	184	1260	3	Ekki er gert ráð fyrir þessari tilhögun í rannsóknaráætlun næstu ára.
7	Skatastaðavirkjun C	156	1090	4	Frumhönnun lokið. Rannsóknarboranir á gangnaleið biða rannsóknarleyfis. Fyrsta gangsetning 2019.
8	Villinganesvirkjun	33	215	4	
16	Skaftárveita með miðlun í Langasjó		465	1	Verkhönnun lokið. Tölur um orkuvinnslumat og stofnkostnaðarflokk hafa verið leiðréttar til samræmis við athugasemdir Landsvirkjunar dagsettar 3/5 2010.
17	Skaftárveita án miðlunar í Langasjó		245	2	Frumhönnun lokið. Tölur um orkuvinnslumat og stofnkostnaðarflokk hafa verið leiðréttar til samræmis við athugasemdir Landsvirkjunar dagsettar 3/5 2010.
18	Skaftárvirkjun	125	760	3	Frumhönnun lokið.
19	Hólmsárvirkjun - án miðlunar	72	450	3	Frumhönnun lokið. Rannsóknarleyfi liggur fyrir.
20	Hólmsárvirkjun - miðlun í Hólmsárlóni	72	470	3	Frumhönnun lokið. Rannsóknarleyfi liggur fyrir.
21	Hólmsárvirkjun neðri	65	480	3	Frumhönnun lokið. Rannsóknarleyfi liggur fyrir. Tölur um uppsett afl og orkuvinnslumat hafa verið uppfærðar með hlífðsjón af niðurstöðum frumhönnunar frá desember 2010. Skv. frumhönnun er virkjað rennsli 70 m ³ /s og virkjað fall 121 m. Fyrsta gangsetning 2016.
24	Tungnaárlón		270	1	Frumhönnun lokið. Fyrsta gangsetning 2017.
25	Bjallavirkjun	46	340	3	Frumhönnun lokið. Fyrsta gangsetning 2017.
26	Skrokkölduvirkjun	35	242	4	Sótt hefur verið um rannsóknarleyfi. Tölur um uppsett afl og orkuvinnslumat hafa verið uppfærðar með tilliti til nýjustu upplýsinga. Innan mannvirkjabeltis aðalskipulags Ásahrepps. Fyrsta gangsetning 2018.
27	Norðlingaöduveita - 566-567,5 m y.s.		635	1	MAU liggur fyrir, leyfi ráðherra fyrir framkvæmdinni. Aðalskipulag austan Þjórsár. Framkvæmd tilbúin til útboðshönnunar. Fyrsta gangsetning 2014.
28	Búðarhálsvirkjun	95	585	3	Öll leyfi liggja fyrir og framkvæmdir eru hafnar. Tala um uppsett afl hefur verið uppfærð með tilliti til nýrra upplýsinga. Gangsetning 2013.
29	Hvarmmsvirkjun	82	665	4	MAU og aðalskipulag liggur fyrir. Útboðshönnun að mestu lokið. Fyrsta gangsetning 2015.
30	Holtavirkjun	53	415	4	MAU og aðalskipulag liggur fyrir. Um 50% útboðshönnunar er lokið. Fyrsta gangsetning 2016.
31	Urriðafossvirkjun	130	980	2	MAU og aðalskipulag liggur fyrir. Um 60% útboðshönnunar er lokið. Fyrsta gangsetning 2016.

Tafla 6.4 Svör Landsvirkjunar

Staðar- númer	Heiti	Uppsett afl í MW	Orkuvinnslu- mat GWh/ár	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
91	Hágönguvirkjun, 1. áfangi	45	369	3	Rannsóknarleyfi liggur fyrir. Ákvörðun um matskyldu rannsóknarborana liggur fyrir. Forathugunarstig. 1 hola 4 MWe. Fyrsta gangsetning 2016.
96	Fremrínámar	45	369	3	Á hugmyndastigi.
97	Bjarnarflag	90	738	2	MÁU virkjunar liggur fyrir. Deiliskipulag í staðfestingarferli. Verkhönnun liggur fyrir. 6 holur og 45 MWe. Fyrsta gangsetning 1. áf. 45 MWe 2014, 2. áf. 45 MWe 2015.
98	Krafla I – stækkun	40	320	2	MÁU virkjunar liggur fyrir. Aðalskipulag liggur fyrir. Verkhönnun liggur fyrir. Fyrsta gangsetning 2015.
99	Krafla II, 1. áfangi	45	369	2	MÁU virkjunar liggur fyrir. Aðalskipulag liggur fyrir. Verkhönnun liggur fyrir. Sjö nýjar holur um 50 MWe, en vökví er súr. Fyrsta gangsetning 2016.
100	Gjástykki	45	369	3	Rannsóknarleyfi og MÁU rannsóknarborana liggur fyrir. Svæðisskipulag liggur fyrir. Engin borhola. Fyrsta gangsetning 2016.
101	Þeistareykir-Vestursvæði	90	738	2	Sjá Þeistareyki Nr 102. Fyrsta gangsetning 2018.
102	Þeistareykir	180	1476	2	MÁU virkjunar liggur fyrir. Aðalskipulag liggur fyrir. Verkhönnun liggur fyrir. Sex holur um 45 MWe. Fyrsta gangsetning 1. áf. 45 MWe 2015, 2. áf. 45 MWe 2016, 3. áf. 45 MWe 2018, 4. áf. 45 MWe 2019.
103	Krafla II, 2. áfangi	90	738	2	Sjá Krafla II nr. 99. Fyrsta gangsetning 45 MWe 2018 og 45 MWe 2019.
104	Hágönguvirkjun, 2. áfangi	90	738	2	Sjá Hágönguvirkjun 1. áfangi nr. 91. Fyrsta gangsetning 45 MWe 2017 og 45 MWe 2018.

Tafla 6.4 Svör Selfossveitna

Staðar-númer	Heiti	Uppsett af í MW	Orkuvinnslu-mat GWh/ár	Stofn-kostnaðar-flokkur	Athugasemdir
38	Selfossvirkjun	30	250	3	Afi: 28 MW, Orka: 230 GWh/a, Rennslí: 360 m³/s, Fall: 10m. Rannsóknarleyfi komið. Umhverfismat að hefjast. Hug-sanleg gangsetning 2014. Tenging við kerfi Landsnets einföld. Engir orkusölusamningar.

Tafla 6.4 Svör Suðurorku

Staðar-númer	Heiti	Uppsett af í MW	Orkuvinnslu-mat GWh/ár	Stofn-kostnaðar-flokkur	Athugasemdir
40	Búlandsvirkjun	150	970	2	Rannsóknarleyfi fengið 2010. Virkjunin er á samþykktari aðalskipulagstillögu Skafthrepps. Frumhönnun er lokið. Samningar við vatnsréttarhafa og landeigendur eru langt komnir. Undirbúningur MAU hafinn og áætlað að ljúka því 2012. Línur til tenginga eru á aðalskipulagi og mat á umhverfisáhrifum þeirra í undirbúningi. Áætluð gangsetning september 2017.

Tafla 6.4 Svör VesturVerks

Staðar-númer	Heiti	Uppsett af í MW	Orkuvinnslu-mat GWh/ár	Stofn-kostnaðar-flokkur	Athugasemdir
4	Hvalá	35	259	5	Endurskoðuð kostnaðaráætlun á verðlagi júní 2011 er 14,475 milljarðar króna fyrir utan fjármagnskostnað. Rannsóknarleyfi hafa eigendur VesturVerks þar sem þeir eru landeigendur og með skriflegt leyfi annara landeigenda til rannsókna. Frumhönnun virkjunarinnar er lokið. Vegna tengikostnaðar hefur verkefnið stöðvast. Ekki hefur verið sótt um nýtingarleyfi, virkjunarleyfi né framkvæmdaleyfi þar sem verkefnið er ekki komið á það stig enn að þess sé þörf. Orkuvinnslugeta er þekkt. Skv. upplýsingum frá Landsneti mun virkjunin tengjast til Ísafiðar yfir Ófeigisfiðarheiði og með sæstreng frá Málgraseyri. Orkuvinnsla gæti hafist árið 2016 fáiist fjármagn til framkvæmda og tilskilin leyfi.

6.5 Sérstakar ábendingar frá faghópi IV

6.5.1 Línur og tengivirki

Faghópur IV gerði tillögur um tengingar einstakra virkjana með tiltölulega einföldum aðferðum eins og að framan greinir. Tengikostnaður var og metinn án tillits til hugsanlegrar samnýtingar með öðrum virkjunum, sem til greina geta komið á svæðinu. Þetta varð til þess að sumar virkjunarhugmyndir eru í töluverðri óvissu hvað varðar endanlegan tengikostnað.

Val á línuleiðum og hönnun línumannvirkja ætti að öllu jöfnu að vera á forræði Landsnets. Það er hins vegar ekki alveg ljóst að það sé verkefni fyrirtækisins að leggja fram vinnu í áætlanagerð eins og rammaáætlun er. Reyndar er fyrirtækinu samkvæmt raforkulögum nokkuð þröngur stakkur skorinn um það hvaða kostnað það getur tekið á sig fyrir vinnu sem tengist hugsanlegum framkvæmdum, sem eru ekki nálægt okkur í tíma. Hins vegar er ljóst að það er æskilegt að flutningsfyrirtækið komi að þessari vinnu vegna þeirrar þekkingar og reynslu sem þar er og að ákvarðanir um endanlegar útfærslur liggja hjá þeim. Í næstu rammaáætlun ætti líka að skilgreina og meta línuverkefni, sem ekki tengjast ákveðnum virkjunum, og fjalla sérstaklega um mismunandi mögulega valkosti og eða útfærslur. Eins getur verið ástæða til að byrja að meta hvernig hugsanlegur strengur frá landinu gæti tengst netinu og hver hugsanleg umhverfisáhrif hans yrðu. Línur frá virkjunum geta vegið þungt í mati faghópa I og II í einstökum virkjunarhugmyndum. Til undirbúnings næsta áfanga rammaáætlunar þarf því að skilgreina aðkomu Landsnets að verkefninu og gera nauðsynlegar ráðstafanir til þess að þeir geti komið að verkefninu.

6.5.2 Kostnaðarútreikningar, markmið og takmarkanir

Með því að orkufyrirtækin eiga nú í samkeppni er ekki hægt að gera kröfu til þeirra að þau leggi fram nákvæma kostnaðarútreikninga. Það þýðir að sú stofnkostnaðarflokkun sem viðhöfð hefur verið í þessum áfanga er gróf. Það leiddi aftur til þess að hagkvæmni virkjana hafði ekki bein áhrif á röðun en liggur fyrir sem hliðarupplýsingar þannig að hægt sé að meta hversu raunhæft sé að hugmyndin komi til virkjunar á næstu árum. Það hlýtur ávallt á endanum að vera ákvörðun orkufyrirtækisins hvort nægileg hagkvæmni er fyrir hendi til þess að hefja framkvæmdir og það byggir ekki minnst á þeim orkusölusamningum sem nást á hverjum tíma. Hins vegar er afkoma virkjunaráfanga til lengri tíma mikilvægur þáttur í því að meta jákvæð efnahagsleg áhrif virkjunarinnar. Einn möguleiki gæti verið að sem hluti af undirbúningi næsta áfanga verði gert einhvers konar staðlað fjárfestingar- og rekstrarlíkan til lengri tíma fyrir vatnsorkuver annars vegar og varmaorkuver hins vegar.

6.5.3 Geislatengdar byggðir

Á veitusvæði Rarik og Orkubús Vestfjarða eru byggðakjarnar og dreifbýli sem eru geislatengd, þ.e. með einni flutningslínu þannig að hætta á rekstrartruflunum er meiri en annars staðar. Á þessum svæðum þarf að huga jafnvel að smærri virkjunarmöguleikum sem jafnframt því að framleiða raforku þjónuðu sem varaafli fyrir þessar byggðir. Því er bent á þetta að um er að ræða einu byggðirnar þar sem virkjanir eru nauðsynlegar til þess að tryggja gæði og afhendingaröryggi raforku fyrir almennan markað.

Nýir orkugjafar

Þótt enn virðist langt í það að raforkuframleiðsla úr öðrum orkulindum verði almennt samkeppnishæf við jarðvarma og vatnsafl er ljóst að orkufyrirtækin og aðrir framkvæmdaaðilar eru farnir að huga að slíkum kostum. Það þarf því ekki að koma á óvart þótt virkjunarhugmyndir, sem byggja á virkjun vinds, sjávarfalla og ölduhreyfinga rati inn á borð næstu rammaáætlunar.

6.6 Tillögur um frekari rannsóknir

Ein afleiðing af þeim hugmyndum sem fram hafa komið, t.d. í auðlindanefnd iðnaðarráðuneytisins undir stjórn Karls Axelssonar⁶³, er að ríkið verður að taka frumkvæði í rannsóknum á þeim orkulindum sem það ræður. Önnur ástæða til þessa er sú, að tryggja verður einhvers konar samkeppni milli aðila sem hafa áhuga á einstökum virkjunarsvæðum og til þess þarf þekkingu á auðlindinni og vandaðan undirbúning. Í þriðja lagi má leiða líkur að því að stærri nýtanlegar jarðhitlindir séu enn ófundnar. Nýsköpun og tækniþróun í yfirborðsrannsóknum hefur hér mikla þýðingu. Eins er mikilvægt að auka þekkingu á eðli og upptökum jarðhitaauðlindarinnar. Frekari rannsóknir á rótum jarðhitakerfa og kvikuinnskotum og djúpboranir eru verkefni sem eru líkleg til þess að auka þekkingu okkar og möguleika til þess að nýta auðlindina með mun skilvirkari hætti. Íslenskir vísindamenn hafa stillt saman strengi með því að stofna rannsóknaklasann GEORG. Ísland tekur þátt í alþjóðlegu vísinda- og þróunarsamstarfi um þróun jarðhitavinnslu á sviði Alþjóða jarðhitasambandsins (IGA), Alþjóða orkumálaskrifstofunnar (IEA), og í sérstöku samstarfi Íslands, Bandaríkjanna, Ástralíu og Sviss um tækniþróun í jarðhitaíðnaðinum (IPGT). Í undirbúningi er stórt evrópuverkefni um samhæfingu jarðhitarannsókna og þekkingarmiðlunar á sviði jarðhita undir forystu Íslands, svokallað ERANET verkefni. Á sviði vatnsorku ber hæst samstarf um matslykil til þess að fá fram sjálfbærnivísa með aðkomu Alþjóða vatnsorkusambandsins (IHA), ríkisstjórna Íslands, Noregs og Þýskalands og frjálsra félagasamtaka (NGOs) sem verður lagður fram í endanlegum drögum til samþykktar á alþjóðlegu vatnsorkuþingi í IGUASSU í Brasilíu í júní 2011. Á vettvangi IEA er sambærileg vinna hafin til þess að fá fram sjálfbærnivísa jarðhitans með sambærilegum hætti. Í næsta áfanga rammaáætlunar er því sá möguleiki fyrir hendi að setja vinnu rammaáætlunar í alþjóðlegt samhengi með því að tengja hana við þennan staðal, að sjálfsögðu með viðbótar áherslum sem taka mið af íslenskum aðstæðum eftir því sem þörf er á.

⁶³ Iðnaðarráðuneytið, 2006. *Framtíðarsýn um verndun og nýtingu auðlinda í jörðu og vatnsafls*. Auðlindanefnd iðnaðarráðuneytisins, form. Karl Axelsson, október 2006, 100 bls.

7 Aðferðafræði og niðurstöður verkefnisstjórnar

Alls voru 84 virkjunarhugmyndir til umfjöllunar í 2. áfanga. Faghópar III og IV röðuðu öllum hugmyndum en það reyndist ekki unnt í faghópum I og II vegna þess að gögn skorti eða þau bárust svo seint að ekki vannst tími til að nýta þau í mati. Faghópur I náði að meta 66 hugmyndir og faghópur II 72. Tafla 7.1 sýnir þá röðun sem hver faghópur skilaði. Í dálknum „Orka“ er áætluð orkuvinnslugeta virkjunar í fullri stærð ef hún stendur undir væntingum virkjunaraðila. Í dálkunum um gæði gagna metur hver faghópur gæði þeirra gagna sem hann studdist við í mati á hverri virkjunarhugmynd. Faghópur I metur annars vegar gæði gagna við mat á verðmætum náttúru og menningarminja, hins vegar gæði gagna sem lýsa tilhögun virkjunar. Einkunnirnar eru skildar að með brotastriki (t.d. B/C). Eyða í töflunni merkir að faghópurinn mat ekki þá virkjunarhugmynd. Faghópur II metur annars vegar gæði gagna við mat á virði svæða með tilliti til viðfanganna ferðamennska og útivist, beit og hlunnindi, og hins vegar gæði gagna við mat á áhrifum á það virði. Einkunnir eru einnig skildar að með brotastriki. Faghópar III og IV mátu gæði gagna við mat áhrifum til breytinga, hagkvæmni og tilhögun virkjunar. Faghópur III nýtti sömu gögn og faghópur IV og telur gæðin álíka fyrir sína vinnu.

Gæðamatinu er skipt í 4 flokka:

- A. Mjög góð gögn sem að mestu nægja fyrir mat á umhverfisáhrifum.
- B. Góð gögn sem nægja fyrir mat rammaáætlunar.
- C. Sæmileg gögn sem tæpast nægja fyrir mat rammaáætlunar.
- D. Ónóg gögn fyrir mat.

Faghópar I og II raða frá sjónarhóli verndunar gagnvart orkunýtingu. Lægsta raðtölu fær sú virkjunarhugmynd sem síst ætti að framkvæma að mati hópanna.

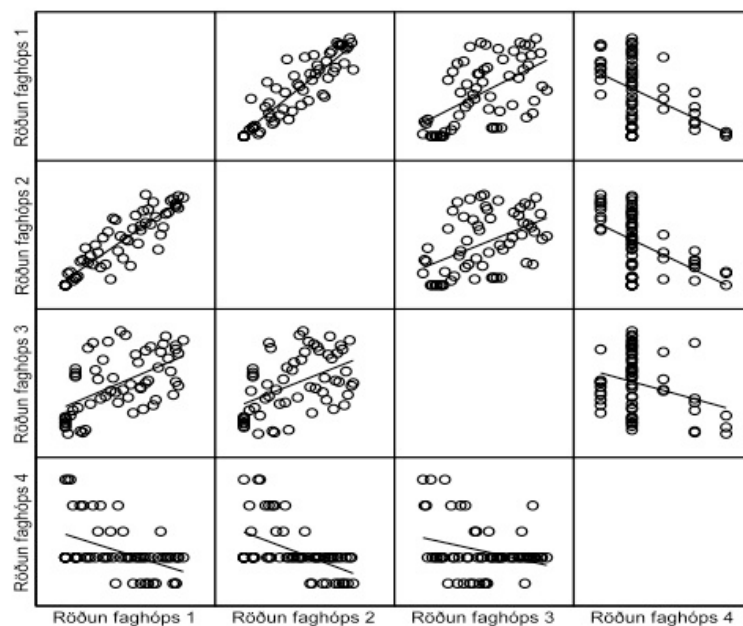
Faghópur III raðar eftir möguleikum sem virkjunarhugmyndin hefði til breytinga í samfélaginu. Annars vegar *vinnumarkaðsáhrif*, hins vegar *efnahagsáhrif*. Matinu er eingöngu ætlað að gefa til kynna umfang þessara áhrifa. Niðurstöðuna má ekki túlka sem jákvæða eða neikvæða. Lægsta raðtölu fær sú hugmynd sem hefði mestar breytingar í för með sér.

Faghópur IV raðar í hagkvæmniflokka sem byggja á hlutfalli stofnkostnaðar virkjunar í íslenskum krónum og orkugetu, þ.e. fjölda orkueininga sem hún framleiðir á ári. Flokkur 1 er hagkvæmastur.

Tafla 7.1 Upphafleg röðun faghópa, orka og gæði gagna.

		Upphafleg röðun faghópa				Orka	Gæði gagna		
Staðar-númer	Heiti	FH I	FH II	FH III	FH IV	(GW/h)	FH I	FH II	FH III og IV
1	Hvítá í Borgarfirði			81	5	125	D/D	D/D	D
2	Glámuvírkjun			16	5	400	D/D	D/D	C
3	Skúfnavatnavírkjun			82	5	60	D/D	D/D	D
4	Hvalá	20	46	44	5	259	C/B	C/C	B
5	Blönduveita	48	60	73	4	180	B/A	A/A	B
6	Skatastaðavírkjun B	7	17	3	3	1260	B/B	A/B	B
7	Skatastaðavírkjun C	9	26	4	4	1090	B/B	A/B	B
8	Villinganesvírkjun		36	55	4	215		B/B	A
9	Fljótshnúksvírkjun	22	24	25	5	405	B/C	B/B	C
10	Hrafnabjargavírkjun A	11	21	24	3	622	B/B	C/C	C
11	Eyjadalssárvírkjun			83	5	58	D/D	D/D	D
12	Arnardalsvírkjun	1	9	1	2	4000	C/C	B/B	B
13	Helmingsvírkjun	8	18	2	4	2100	C/C	C/C	C
14	Djúpá	15	13	28	4	498	C/C	B/B	C
15	Hverfisfljót		30	61	4	260	D/D	D/D	D
16	Skaftárveita með miðlun í Langasjó	10	16	67	1	465	B/C	B/B	A
17	Skaftárveita án miðlunar í Langasjó	13	28	50	2	245	B/C	B/B	A
18	Skaftárvírkjun	6	7	21	3	760	B/C	B/B	A
19	Hólmsárvírkjun - án miðlunar	24	19	35	3	450	B/B	B/C	B
20	Hólmsárvírkjun - miðlun í Hólmsárlóni	19	5	34	3	470	B/C	B/C	B
21	Hólmsárvírkjun neðri	30	29	56	3	480	B/B	B/C	A
22	Markarfljótswírkjun A		11	79	5	120	C/B	C/C	C
23	Markarfljótswírkjun B	4	4	19	4	735		C/C	C
24	Tungnárlón	18	37	72	1	270	B/C	B/B	B
25	Bjallavírkjun	16	33	58	3	340	B/C	B/B	B
26	Skrokkölduvírkjun	39	35	64	4	242	B/B	B/C	B
27	Norðlingaölduveita - 566-567,5 m y.s.	21	45	33	1	635	A/A	A/B	A
28	Búðarhálsvírkjun	44	59	31	3	585	A/A	A/A	A
29	Hvammsvírkjun	37	47	27	4	665	A/A	A/A	A
30	Holtavírkjun	34	52	42	4	415	A/A	A/A	A
31	Urriðafossvírkjun	28	39	17	2	980	A/A	A/A	A
32	Gýgjarfossvírkjun	12	15	71	5	146	C/C	B/D	C
33	Bláfellsvírkjun	17	15	30	4	536	C/C	C/D	C
34	Búðartunguvírkjun		22	53	4	320	D/D	C/C	C
35	Haukholtswírkjun			47	4	358	D/D	D/D	C
36	Vörðufell			57	5	170	D/D	D/D	C
37	Hestvatnsvírkjun			60	4	300	D/D	D/D	C
38	Selfossvírkjun			75	3	250		C/C	C
39	Hagavatnsvírkjun	25	32	77	5	140	B/B	B/C	B
40	Búlandsvírkjun	11,5	27	18	2	970	B/C	B/C	A
61	Reykjanes stækkun	46	61	38	2,5	568	A/B	A/A	A

62	Stóra Sandvík	46	53	63	2,5	410	A/C	B/B	B
63	Eldvörp (Svartsengi)	42	50	59	3	410	A/B	A/A	A
64	Sandfell	41	49	76	3	410	A/C	B/C	B
65	Trölladyngja	29	48	62	3	410	A/B	B/C	B
66	Sveifluháls	35	42	68	2	410	A/C	C/C	C
67	Austurengjar	40	40	70	2	410	A/C	B/C	B
68	Brennisteinsfjöll	23	34	80	3	200	C/C	B/B	B
69	Meitillinn	45	55	69	3	369	A/B	A/A	B
70	Gráuhnúkar	45	56	66	3	369	A/A	A/A	A
71	Hverahlíð	45	54	41	3	738	A/A	A/A	A
72	Hellisheiði	33	62	40	3	738	A/A	A/A	A
73	Innstidalur	33	43	65	3	369	A/B	A/B	B
74	Bitra	31	38	37	3	738	A/B	A/A	A
75	Þverárdalur (Ölfusvatnslundur)	31	41	36	3	738	D/C	A/B	B
76	Ölfusdalur		44	84	2,5	82	D/B	A/B	B
77	Grændalur	26	31	29	3	984	B/C	A/C	A
78	Geysir		3	78	3	200		B/B	B
79	Hverabotn	5	6	51	3	392	C/C	B/B	C
80	Neðri-Hveradalir	5	6	48	3	392	C/C	B/B	C
81	Kisubotnar	5	6	46	3	392	C/C	B/B	C
82	Þverfell	5	6	45	3	392	C/C	B/B	C
83	Hveravellir		12	32	3	560		B/B	C
84	Blautakvísl	2	1	10	3	1448	B/C	B/B	B
85	Vestur-Reykjadalir	2	1	14	3	1448	B/C	B/B	B
86	Austur-Reykjadalir	2	1	12	3	1448	B/C	B/B	B
87	Ljósártungur	2	1	13	3	1448	B/C	B/B	B
88	Jökultungur	2	1	9	3	1448	B/C	A/B	B
89	Kaldaklof	2	1	7	3	1448	B/C	B/B	B
90	Landmannalaugar	2	1	6	3	1448	B/C	B/B	B
91	Hágönguvirkjun, 1. áfangi	38	25	52	3	369	B/B	B/B	B
92	Vonarskarð	3	10	15	3	1160	B/C	B/B	C
93	Kverkfjöll		8	8	3	1240		C/C	C
94	Askja		2	11	3	1080		C/C	C
95	Hrúthálsar		20	74	3	160		C/C	D
96	Fremrinámar	14	23	43	3	369	C/C	C/C	C
97	Bjarnarflag	36	57	23	2	738	A/B	B/B	A
98	Krafla I- stækkun	47	58	54	2	320	A/A	A/A	A
99	Krafla II, 1. áfangi	43	58	49	2	369	A/B	A/A	A
100	Gjástykki	27	14	39	3	369	B/C	A/B	B
101	Þeistareykir - Vestursvæði	32	51	20	2	738	B/C	B/B	B
102	Þeistareykir	32	51	5	2	1476	B/B	B/B	A
103	Krafla II, 2. áfangi	43	58	22	2	738	B/C	A/A	A
104	Hágönguvirkjun, 2. áfangi	38	25	26	2	738	B/C	B/B	B
	Fjöldi sæta sem er úthlutað	48	62						

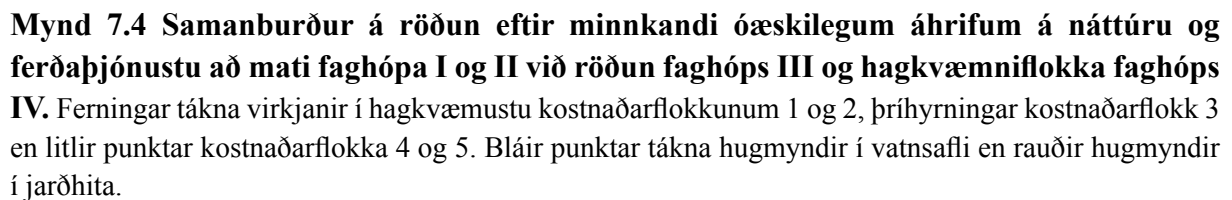


Mynd 7.1 Fylgni milli röðunar hjá faghópum.

Faghópar I og II raða eftir minnkandi áhrifum á náttúru og ferðapjónustu. Faghópur III raðar eftir minnkandi umfangi breytinga sem virkjun mundi valda. Faghópur IV raðar í 5 flokka með minnkandi hagkvæmni virkjunar.

	FH I	FH II	FH III	FH IV
FH I		0,90	0,50	-0,47
FH II	80%		0,36	-0,55
FH III	25%	13%		-0,03
FH IV	22%	30%	0%	

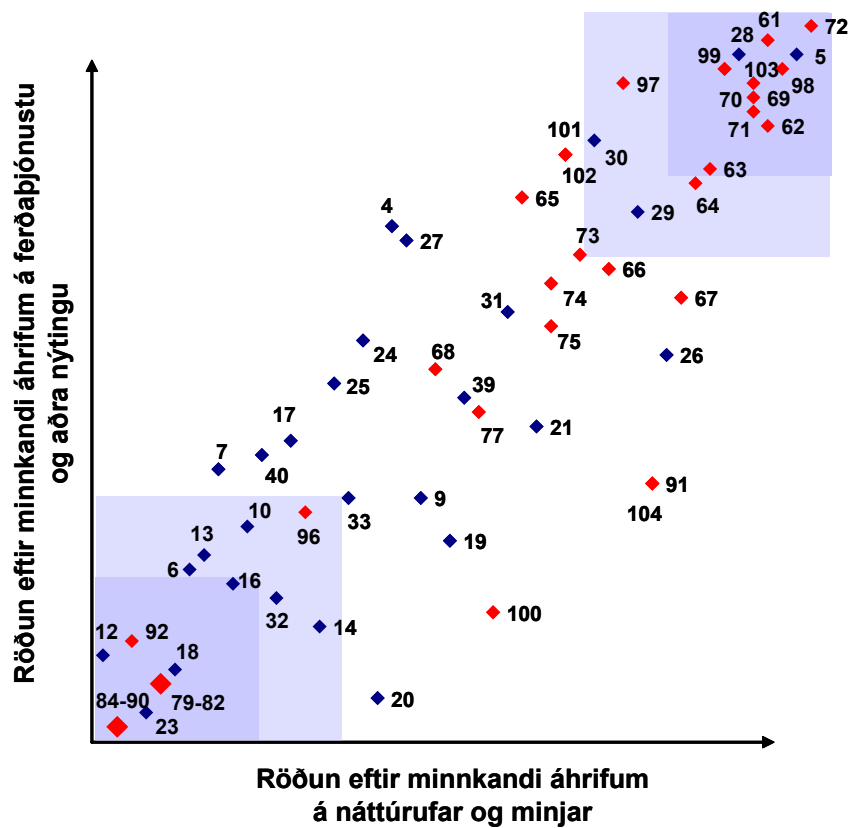
Mynd 7.2 Tölfræðileg fylgni milli röðunar hjá faghópum.



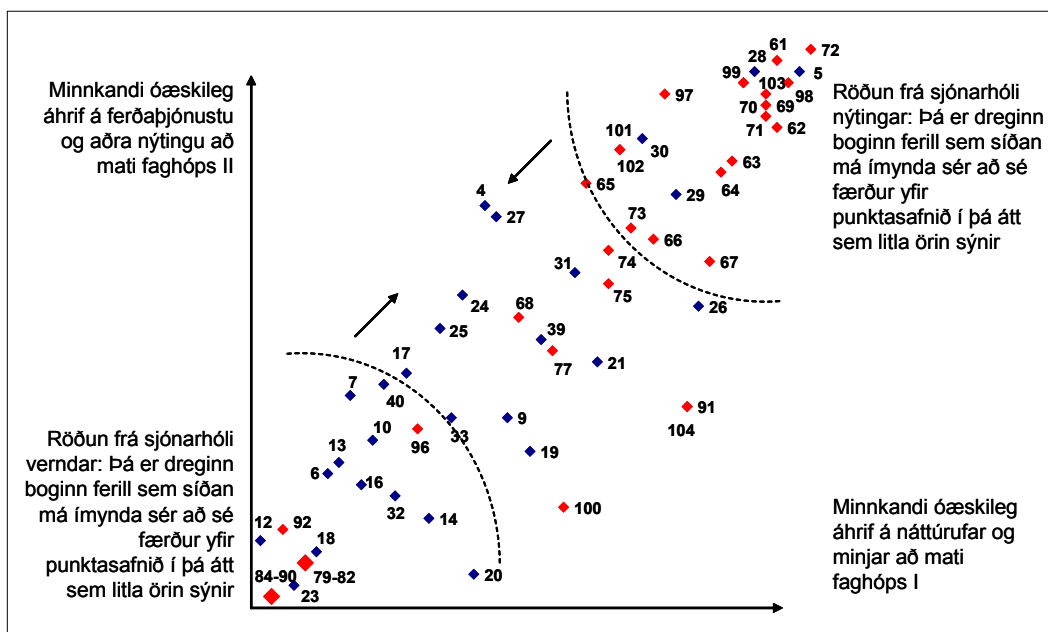
Mynd 7.1 sýnir fylgni milli röðunar hjá faghópum. Mjög sterk fylgni er milli röðunar hjá faghópum I og II en hún er lítil sem engin milli annarra hópa. Mynd 7.2 sýnir tölfræðilegt mat á fylgninni. Annars vegar eru samsvörunarstuðlar r (correlation coefficients) á bilinu 0 til 1, hins vegar fylgni skráð í hundraðshlutum ($100 * r^2$). Í mynd 7.3 er fylgnin milli röðunar faghópa I og II sýnd nánar. Á mynd 7.4 er borin saman röðun faghópa I og II við röðun faghóps III. Hún sýnir einnig hvernig hagkvæmniflokkar faghóps IV dreifast. Númer við punkta eru staðarnúmer virkjunarhugmynda úr töflum 2.1 og 2.2. Áhrif til breytinga að mati faghóps III og hagkvæmni samkvæmt flokkun faghóps IV sýna litla fylgni við röðun faghópa I og II. Hagkvæmir kostir til virkjunar finnast bæði meðal þeirra hugmynda sem taldar eru óæskilegar vegna áhrifa á náttúru og ferðapjónustu og hinna sem hafa lítil neikvæð áhrif á þessa þætti. Sama gildir um áhrif til breytinga samkvæmt mati faghóps III. Í ljósi þessa samþykkti verkefnisstjórnin að leggja röðun faghópa I og II til grundvallar í sinni röðun en nýta álit faghópa III og IV sem viðbótarupplýsingar um þær hugmyndir sem raðað er. Vandinn í röðun virkjunarhugmynda snerist þá um hvernig ætti að fara að þegar faghópar I og II raða ólíkt og hvernig ætti að fara með þær hugmyndir sem aðeins fengu mat frá öðrum hópnum eða hvorugum. Niðurstaða þeirrar umræðu var að raða aðeins þeim hugmyndum sem báðir faghóparnir höfðu metið. Þótt áætla mætti hvar þessar hugmyndir hefðu lent í röð væri ekki þörf á að raða þeim að þessu sinni.

Þrjár leiðir komu til greina í röðun þegar faghópar I og II röðuðu ólíkt. Í fyrsta lagi að taka meðaltal af raðeinkunn þeirra. Í 1. áfanga rammaáætlunar voru raðeinkunnir faghóps I látnar vega tvöfalt á við raðeinkunn faghóps II. Nú voru viðföng á sviði faghóps II viðtækari og því þótti það hlutfall ekki viðeigandi. Önnur leið var að styðjast við mynd 7.3 af fylgni milli faghópanna og raða eftir fjarlægð frá sitt hvorum endapunkti hornalínu gegnum punktastafnið. Hornið neðst til vinstri var nefnt sjónarhóll verndar, en hornið efst til hægri sjónarhóll nýtingar. Hugsu mætti sér að dreginir væru kassar frá hvoru horni (sjá mynd 7.5). Virkjunarhugmyndir kæmu þá inn í röðina þegar kassi frá viðeigandi sjónarhóli næði til þeirra í myndinni. Þessi aðferð hafði þann eiginleika að velja fyrr þær hugmyndir sem liggja nærri hornalínunni en þær sem viku markvert frá henni. Það þótti ókostur þar sem ekki væri tekið nægilegt tillit til mikilvægra þátta sem réðu frávikinum hjá öðrum hvorum faghópanna.

Þriðja aðferðin væri að draga hringa frá hvorum sjónarhóli (sjá mynd 7.6). Hún hefur þann kost að nú ræður fjarlægð frá hvorum sjónarhóli röðinni. Þessi aðferð þótti vænlegust til að mæta sjónarmiðum beggja faghópa og var hún látin ráða röðun verkefnisstjórnar.



Mynd 7.5 Röðun með kössum, dregnum frá sjónarhólum verndunar eða nýtingar. Númer við punkta eru staðarnúmer virkjunarhugmyndar samkvæmt töflum 2.1 og 2.2. Bláir punktar tákna hugmyndir í vatnsafli en rauðir hugmyndir í jarðhita.



Mynd 7.6 Röðun með hringum, dregnum frá sjónarhólum verndunar eða nýtingar. Númer við punkta eru staðarnúmer virkjunarhugmyndar samkvæmt töflum 2.1 og 2.2. Bláir punktar tákna hugmyndir í vatnsafli en rauðir hugmyndir í jarðhita.

Niðurstaða röðunar með þessum hætti er sýnd í töflu 7.2. Við flestar virkjunarhugmyndir eru athugasemdir sem lýsa því hversu langt undirbúningur að virkjun er kominn. Þær eru mjög misjafnlega á vegi staddar. Í sumum tilfellum er um frumhugmyndir að ræða sem eftir er að útfæra eða byggja á eldri áformum sem kalla á verulega endurskoðun. Í öðrum tilfellum er um fullhannaðar virkjanir að ræða sem jafnvel eru komnar á framkvæmdastig. Í töflu 7.2 má m.a. sjá að margar virkjunarhugmyndir, alls 14, eru þegar komnar í mat á umhverfisáhrifum (MÁU) eða hafa lokið því. Þær eru sýndar í öðrum lit, hugmyndir í jarðhita brúna og í vatnsafla blágrænar. Nánari upplýsingar má fá hjá Skipulagsstofnun sem er umsjónaraðili mats á umhverfisáhrifum (www.skipulag.is). Það mat er ítarleg úttekt á áhrifum stærri framkvæmda á umhverfisþætti og byggir á mun meiri upplýsingum en gerð er krafa um gagnvart rammaáætlun. Tekið skal fram að í sumum tilfellum fór til mats á umhverfisáhrifum önnur útfærsla virkjunar en rammaáætlun tekur afstöðu til.

Í athugasemdum í töflu 7.2 má einnig sjá á hvaða stigi þekking á orkuvinnslugetu er talin. Þessar upplýsingar eru fengnar frá þeim orkufyrirtækjum sem eru að rannsaka hugmyndina. Víða er þess getið hvenær væri að vænta gangsetningar fyrsta áfanga virkjunar. Það á einkum við jarðvarmavirkjanir þar sem ekki verður ljóst hvers jarðhitakerfi er megnugt fyrr en á það reynir. Röðun virkjunarhugmynda af sjónarhóli nýtingar mætti nýta til að velja virkjanir sem gætu mætt þörf fyrir auknar virkjanir á næstu árum. Þá þarf að gæta að nauðsynlegum undirbúnings- og byggingartíma. Sérstaklega þarf að gera ráð fyrir áfangaskiptingu í virkjun háhita og töfum sem þar gætu orðið ef jarðhitasvæðið stendur ekki undir væntingum.

Á sama hátt mætti nýta röðun af sjónarhóli verndunar í töflu 7.2 til að móta stefnu um friðun landsvæða gagnvart virkjunum. Þar mundi fremur vera stefnt að verndun heillegra landsvæða en stökum verndarsvæðum innan um virkjanir. Í mati faghópa I og II kemur ljóst fram að verðmæti náttúrusvæða skerðast ef virkjanir rjúfa stærri heildir. Auk þess að flokka virkjunarhugmyndir í nýtingarflokk eða verndunarflokk gæti því þurft að skilgreina heilleg verndunarsvæði og nýtingarsvæði. Innan verndunarsvæða væru allar virkjunarhugmyndir í verndarflokki. Innan nýtingarsvæða væru virkjunarhugmyndir almennt í nýtingarflokki eða biðflokki, en sumar þeirra gætu við nánari skoðun lent í verndarflokki.

Tafla 7.2 Röðun verkefnisstjórnar								
Nr.	Heiti	Röðun af sjónarhóli nýtingar	Röðun af sjónarhóli verndar	Uppsett afl MW	Orkuvinnslu- mat	Þjódhagsleg- og byggðáhrif	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
72	Hellisheiði	1	66	90	738	40	3	Virkjun gangsett 2011
5	Blönduveita	2	65	28	180	73	4	Tölur leiðréttar af LV. Gert er ráð fyrir að nýta nánast allt fallið frá miðunarhlóni í inntakslón. Unnið að frumhönnun. Fyrsta gangsetning 2016.
61	Reykjanes	3	64	80	568	38	2,5	Beiðni um virkjunarleyfi hjá OS. MÁU samþykkt. 50 MW 2 árum og 30 MW, 3 árum eftir útgáfu leyfis, 2013 og 2014.
98	Krafla I - stækkun	4	63	40	320	54	2	MÁU samþykkt. Aðalskipulag liggur fyrir. Verkhönnun liggur fyrir. Fyrsta gangsetning 2015. Mjög fjölbreytt lífríki hitakærra örværa.
28	Búðarhálsvirkjun	5	62	95	585	31	3	Öll leyfi liggja fyrir og framkvæmdir eru hafnar. Tala um uppsett afl hefur verið uppfærð með tilliti til nýrra upplýsinga. Gangsetning 2013.
62	Stóra-Sandvík	6	57	50	410	63	2,5	Á aðalskipulagi. Rannsóknarleyfi, nýtingarleyfi og virkjunarleyfi ekki til staðar. Orkuvinnslugeta ekki þekkt. Reynist svæðið gjöfult gæti framleiðsla hafist eftir 5-8 ár.
70	Gráuhnúkar	7	61	45	369	66	3	MÁU frummatsskýrsla. Á aðalskipulagi. Rannsóknarleyfi fengið. Vissa um vinnslugetu 65%.
69	Meitillinn	8	58	45	369	69	3	Frumathugun. Vissa um vinnslugetu 35%
99	Krafla II, 1. áfangi	8	58	45	369	49	2	MÁU samþykkt. Aðalskipulag liggur fyrir. Verkhönnun liggur fyrir. 7 nýjar holur um 50 MWe, en vökví er súr. Fyrsta gangsetning 2016.
103	Krafla II, 2. áfangi	8	58	90	738	22	2	Sjá Krafla II Nr. 99. Fyrsta gangsetning 45 MWe 2018 og 45 MWe 2019.
71	Hverahlíð	11	56	90	738	41	3	MÁU og aðalskipulagi lokið að hluta. Vissa um vinnslugetu 85%. Gangsetning í fyrsta lagi í lok 2014.
97	Þjarnarflag	12	54	90	738	23	2	MÁU samþykkt. Deiliskipulag í staðfestingarferli. Verkhönnun liggur fyrir. 6 holur og 45 MWe. Fyrsta gangsetning 1. áf. 45 MWe 2014, 2. áf. 45 MWe 2015. Framkvæmda- og virkjunarleyfi ekki veitt enn.
63	Eldvörp (Svartsengi)	13	55	50	410	59	3	Grindavíkurbær að leggja lokahönd á nýtt aðalskipulag. Rannsóknarleyfi og nýtingarleyfi fengin, virkjunarleyfi ekki. Orkuvinnslugeta nokkuð þekkt, 50 MWe í einum áfanga eftir um 3-4 ár (2015).

Nr.	Heiti	Röðun af sjónarhóli nýtingar	Röðun af sjónarhóli verndar	Uppsett afl MW	Orkuvinnslu- mat	Þjóðhagsleg- og byggðáhrif	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
64	Sandfell	14	53	50	410	76	3	Rannsóknarleyfi fengið, nýtingarleyfi og virkjunarleyfi ekki. Orkuvinnslugeta ekki þekkt. Framleiðsla gæti hafist eftir um 5-10 ár (2017).
30	Holtavirkjun	15	52	53	415	42	4	MAU og aðalskipulag liggur fyrir. Um 50% útboðshönnun er lokið. Fyrsta gangsetning 2016. Framkvæmda- og virkjunarleyfi ekki veitt enn.
29	Hvammvirkjun	16	51	82	665	27	4	MAU og aðalskipulag liggur fyrir. Útboðshönnun að mestu lokið. Fyrsta gangsetning 2015. Framkvæmda- og virkjunarleyfi ekki veitt enn.
67	Austurengjar	17	50	50	410	70	2	Rannsóknarleyfi fengið, nýtingarleyfi og virkjunarleyfi ekki. Orkuvinnslugeta ekki þekkt. Framleiðsla gæti hafist eftir um 5 ár (2019).
101	Þeistareykir- Vestursvæði	18	48	90	738	20	2	Sjá Þeistareyri nr 102. Fyrsta gangsetning 2018.
102	Þeistareykir	18	48	180	1476	5	2	MAU fyrir 200 MW samþykkt. Aðalskipulag í staðfestingarkerfi. Verkhönnun liggur fyrir. 6 holar um 45 MWe. Fyrsta gangsetning 1. áf. 45 MWe 2015, 2. áf. 45 MWe 2016, 3. áf. 45 MWe 2018, 4. áf. 45 MWe 2019.
26	Skrokkölduvirkjun	20	45	35	260	64	4	Sótt um rannsóknarleyfi. Tölur um uppsett afi og orkuvinnsluamat hafa verið uppfærðar með tilliti til nýjustu upplýsinga. Innan mann-virkjabeltis aðalskipulags Ásahrepps. Fyrsta gangsetning 2018.
66	Sveifluháls	21	47	50	410	68	2	Rannsóknarleyfi fengið, nýtingarleyfi og virkjunarleyfi ekki. Orkuvinnslugeta ekki vel þekkt. Orkuframleiðsla gæti hafist eftir 5 ár (2016).
73	Innstidalur	22	46	45	369	65	3	Frumathugun. Vissa um vinnslugetu 50%.
65	Trölladyngja	23	44	50	410	62	3	Rannsóknarleyfi fengið, nýtingarleyfi og virkjunarleyfi ekki. Orkuvinnslugeta ekki vel þekkt. Orkuframleiðsla gæti hafist eftir 5-10 ár (2018).
75	Þverárdalur (Ölfusvatnslendur)	24	43	90	738	36	3	Frumathugun. Rannsóknarleyfi fengið. Vissa um vinnslugetu 35%.
91	Hágönguvirkjun, 1. áfangi	25	37	45	369	52	3	Rannsóknarleyfi liggur fyrir. Ákvörðun um matskyldu rannsóknarborana liggur fyrir. Forathugunarstig, 1 hola 4 MWe. Fyrsta gangsetning 2016. Mikil mannvirki á miðhlendinu, rétt við þjóðgarð, áhrif af linum.
104	Hágönguvirkjun, 2. áfangi	25	37	90	738	26	2	Sjá Hágönguvirkjun 1. áfangi nr. 91. Fyrsta gangsetning 45 MWe 2017 og 45 MWe 2018.

Nr.	Heiti	Röðun af sjónarhóli nýtingar	Röðun af sjónarhóli verndar	Uppsett afl MW	Orkuvinnslumat	Þjóðhagsleg- og byggðáhrif	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
74	Bitra		27	42	90	738	3	MAU lokið. Aðalskipulagi frestað. Vissa um vinnslugetu 50%. Mikilvægt útivistarsvæði í nágrenni þéttbýlis.
31	Urríðafossvirkjun		28	41	130	980	2	MAU og aðalskipulag liggur fyrir. Um 60% útboðshönnunar er lokið. Fyrsta gangsetning 2016. Frankvænnda- og virkjunarleyfi ekki veitt enn. Hefur áhrif á stærsta laxveiðistofn landsins með um 10% af heild náttunulegrar laxveiði á Íslandi. Veiði síðustu ár um 5000 laxar. Um 95% aflans er veiddur í net. Netaveiði mun leggjast af með tilkomu virkjunarinnar. Vatnsmesti foss landsins.
4	Hvalá		29	39	35	259	5	Rannsóknarleyfi fengið. Frumhönnun lokið. Vegna tengikostnaðar er verkefnið í bið. Orkuvinnsla gæti hafist árið 2016. Eina virkjunarhugmynd á Vestfirðum í mati.
27	Norðlingaölduveita 566-567,5 m y.s.		30	40		635	1	MAU liggur fyrir, leyfi ráðherra fyrir framkvæmdinni. Aðalskipulag austan Þjórsár. Framkvæmd tilbúin til útboðshönnunar. Fyrsta gangsetning 2014. Felur í sér röskun vestan Þjórsár á lítt snortnu landi í jaðri Þjórsárvera.
21	Hólmsárvirkjun neðri		31	36	65	480	3	Frumhönnun lokið. Rannsóknarleyfi liggur fyrir. MAU hafið. Verkhönnun að hefjast. Aðalskipulag í staðfestingarferli. Afl og orkuvinnslumat uppfærð eftir frumhönnun. Virkjað rennsli 70 m³/s og virkjað fall 121 m. Fyrsta gangsetning 2016. Óraskað vatnasvið.
68	Brennisteinsfjöll		32	33	25	200	3	Forathugun. Umsókn um rannsóknarleyfi. Vissa um vinnslugetu 35%. HS Orka hyggur ekki á virkjun Brennisteinsfjalla að svo stöddu. Stærsta óbyggða víðerni sem eftir er í nágrenni höfuðborgarinnar.
77	Grændalur		33	34	120	984	3	MAU lokið. Frumathugun. Rannsóknarleyfi liggur fyrir. Vissa um vinnslugetu 50%. Mikilvægt útivistarsvæði í nágrenni þéttbýlis.
39	Hagavatnsvirkjun		34	35	20	140	5	MAU að hluta lokið. Forathugun. Rannsóknarleyfi fengið. Vissa um vinnslugetu 85%.
24	Tungnaárón		35	32		270	1	Frumhönnun lokið. Fyrsta gangsetning 2017. Áhrif á verðmætt landslag.
25	Blalavirkjun		36	31	46	340	3	Frumhönnun lokið. Fyrsta gangsetning 2017.
9	Flióthnúksvirkjun		37	30	58	405	5	Óraskað vatnasvið.

Nr.	Heiti	Röðun af sjónarhóli nýtingar	Röðun af sjónarhóli verndar	Uppsett afl MW	Orkuvinnslu- mat	Þjóðhagsleg- og byggðáhrif	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
19	Hólmsárvirðjun - án miðlunar	38	29	72	(450) ¹	35	3	Frumhönnun lokið. Rannsóknarleiðir liggur fyrir. Ekki byggð ef Hólmsárvirðjun neðri verður valin. Óraskað vatnasvið.
17	Skafftarveita án miðlunar í Langasjó	40	28		(245)	50	2	Frumhönnun lokið. Tölur um orkuvinnslumat og stofnkostnaðar-flokk hafa verið leiðréttar til samræmis við athugasemdir Lands-virkjunar dagsettar 3/5 2010. Að hluta innan Vatnajökulsþjóð-garðs. Ekki ráðgerð ef Búlandsvirkjun verður byggð.
33	Bláfellsvirðjun	41	27	76	536	30	4	Í Hvítá ofan við Gullfoss. Óraskað vatnasvið.
100	Gjástykki	39	26	45	369	39	3	Rannsóknarleiðir og MÁU rannsóknarborana liggur fyrir. Svæðis-skipulag liggur fyrir. Engin borhola. Fyrsta gangsetning 2017. Nýtt hraun, einstakar hraunmyndanir, sterk mynd og tækifæri til uppbyggingar þekkingar og fræðslutengdrar ferðabjónustu.
40	Búlandsvirkjun	42	25	150	970	18	2	Rannsóknarleiðir fengið 2010. Virðjun og línur eru á aðalskipulagi Skafftarhrepps. Frumhönnun er lokið. Samningar við vatnsréttar-hafa og landeigendur eru langt komnir. Undirbúningur MÁU hafinn, áætluð lok 2012. Áætluð gangsetning september 2017. Rétt við Eldgjá, verðmætar jarðminjar og landslag. Viðtækt áhrifsvæði framkvæmdar.
96	Fremrinámar	43	24	45	369	43	3	Á hugmyndastigi. Hluti af viðtattum víðernum í sérstæðu eldfjallalandslagi norðan Vatnajökuls.
7	Skatastaðavirkjun C	44	23	156	1090	4	4	Frumhönnun lokið. Rannsóknarboranir á gangnaleið biða rannsóknarleiðis. Fyrsta gangsetning 2019. Einstakar aðstaður til flúðasiglinga, þær langbestu á landinu, einkum fyrir erfiðar og langar ferðir. Einhver mestu flæðjengi á Norðurlöndum við Héraðsvötn, auðugt fuglalíf, sérstæðar sífrerastir á hálendi og mjög verðmætar og fjölbreyttar menningarmínjar.
10	Hrafnabjargavirkjun A	45	22	89	622	24	3	Óraskað vatnasvið.
14	Djúpa	47	21	75	498	28	4	Á svæðinu eru mjög lítil merki um ferðir eða búsetu manna, óraskað vatnasvið, hluti af lítt snortnum víðernum í jaðri Vatna-jökulsþjóðgarðs.
32	Gýgjarfossavirkjun	48	20	21	146	71	5	Í Hvítá ofan við Gullfoss. Óraskað vatnasvið og lítt snortið land.
16	Skafftarveita með miðlun í Langasjó	50	19		(465)	67	1	Verkhönnun lokið. Tölur um orkuvinnslumat og stofnkostnaðar-flokk hafa verið leiðréttar til samræmis við athugasemdir Lands-virkjunar dagsettar 3/5 2010. Er hluti af Vatnajökulsþjóðgarði.

¹ Orkuvinnslugeta: Tölur innan sviga þýða að þetta afl verður ekki nýtt nema fallið sé frá virðjunarhugmyndum sem hafa minni áhrif.

Nr.	Heiti	Röðun af sjónarhóli nýtingar	Röðun af sjónarhóli verndar	Uppsett afl MW	Orkuvinnslu- mat	Þjóðhagsleg- og byggðáhrif	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
13	Helmingsvirkjun	49	18	270	2100	2	4	Breytingar á vatnafari Jökulsár á Fjöllum, þar með Dettifossi, hluti Vatnajökulsþjóðgarðs.
6	Skatastaðavirkjun B	51	17	184	(1260)	3	3	Ekki er gert ráð fyrir þessari tilhögun í rannsóknaráætlun næstu ára. Getur ekki orðið ef Skatastaðavirkjun C verður að veruleika. Einstakur aðstæður til flúðasiglinga, þær langbestu á landinu, einkum fyrir erfiðar og langar ferðir. Einhver mestu flæðlengi á Norðurlöndum við Héraðsvötn, auðugt fuglalíf, sérstæðar slifrerarústir á hálendi og mjög verðmætar og fjölbreyttar menningarmínjar.
20	Hólmsár­virkjun - miðlun í Hólmsarlóni	46	16	72	(470)	34	3	Skarast við virkjunarhugmynd í Hólmsá án miðlunar í Hólmsarlóni. Frumhönnun lokið. Rannsóknarleyfi liggur fyrir. Óraskað vatnasvið.
18	Skaf­ta­virkjun	52	15	125	(760)	21	3	Frumhönnun lokið. Getur ekki orðið ef Búlandsvirkjun er valin.

Nr.	Heiti	Röðun af sjónarhóli nýtingar	Röðun af sjónarhóli verndar	Uppsett afl MW	Orkuvinnslu- mat	Þjóðhagsleg- og byggðáhrif	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
92	Vonarskarð	53	14	145	1160	15	3	Háhitasvæði í Vatnajökulsþjóðgarði í hjarta óspilltra víðerna Íslands, mikil áhrif af línun. Verðmætt lífríki hitakærra öværa.
	Kerlingarfjallasvæði							Sérstætt og verðmætt landslag, lítt röskuð víðerni.
79	Hverabotn	55	10	49	392	51	3	
80	Neðri-Hveradalir	55	10	49	392	48	3	
81	Kisubotnar	55	10	49	392	46	3	
82	Þverfell	55	10	49	392	45	3	
23	Markarfljótsvirkjun B	59	9	109	735	19	4	Ósnortið vatnasvið, fjölbreytt og verðmætt landslag og víðerni
12	Amardalsvirkjun	54	8	570	(4000)	1	2	Verður ekki virkjað ef Helmingvirkjun byggð. Breytingar á vatnafari Jökulsár á Fjöllum, þar með Dettifossi, hluti Vatnajökulsþjóðgarðs. Mjög mikil verðmæti í landslagi, víðernum, jarðminjum og lífríki. Virkjun myndi færa merkar menningarminjar og verðmætan gróður á kaf.
	Torfajökulssvæði							Að mestu friðland að Fjalabaki. Þetta svæði er landfræðileg heild og jarðfræðilega einstakt á heimsvísu. Samspil vegsum-merkja elds, íss, hrauns og jökla auk einstakrar lífadyrðar jafnt í jarðvegi sem gróðri. Með almiklivægustu svæðum landsins vegna náttúruferðabjónustu og útivistar. Jarðvarmavirkjanir 84 – 90 yrðu á friðlandi eða alveg við mörk þess. Mjög mikil verðmæti í landslagi, víðernum, hitakærum öværum og jarðminjum.
84	Blautakvísl	60	1	181	1448	10	3	
85	Vestur-Reykjadalir	60	1	181	1448	14	3	
86	Austur-Reykjadalir	60	1	181	1448	12	3	
87	Ljósártungur	60	1	181	1448	13	3	
88	Jökultungur	60	1	181	1448	9	3	
89	Kaldaklof	60	1	181	1448	7	3	
90	Landmannalaugar	60	1	181	1448	6	3	

Virkjunarhugmyndir sem ekki voru metnar af öllum faghópum

Nr.	Heiti	Röðun af--- sjónarhóli nýtingar	Röðun af sjónarhóli verndar	Uppsett afl MW	Orkuvinnslu- mat	Þjóðhagsleg- og byggðaaðhrif	Stofn- kostnaðar- flokkur	Athugasemdir
1	Hvítá í Borgarfirði			20	125	81	5	Frumathugun. Vissa um vinnslugetu 65%
2	Glámuvírkjun			67	400	16	5	
3	Skúfnavatnavírkjun			8,5	60	82	5	
8	Villinganesvírkjun			33	(215)	55	3	Verkhömun lokið 2000. MÁU samþykkt 2002. Þá 33 MW,190 GWh/ár, stofnkostnaðarflokki 4. Nú í flokk 3, 215 GWh/ár. Ef miðlun ofar 250 GWh/ár. Getur ekki orðið ef Skatastaðavírkjun C verður að veruleika.
11	Eyjadalesvírkjun			8	58	83	5	
15	Hverfisfjót			40	260	61	4	
22	Markarfljótsvírkjun A			14	(120)	79	5	Getur ekki orðið ef Markarfljótsvírkjun B verður að veruleika.
34	Búðartunguvírkjun			50	320	53	4	
35	Haukholtsvírkjun			60	358	47	4	
36	Vörðufell			52	170	57	5	
37	Hestvatnsvírkjun			40	300	60	4	Ný útfærsla er í undirbúningi.Umsókn um rannsóknarlýfi. Viðræður við landeigendur og sveitarfélög.
38	Selfossvírkjun			30	250	75	3	Selfossveitur og Vegagerð ríkisins hafa samið um samstarf um stíflu og brú. Vinna við MÁU að hefjast.
76	Ölfusdalur			10	82	84	2,5	
78	Geysir			25	200	78	3	
83	Hveravellir			70	560	32	3	
93	Kverkfjöll			155	1240	8	3	
94	Askja			135	1080	11	3	
95	Hrúthálsar			20	160	74	3	

8 Samráð og kynningar

Samkvæmt erindisbréfi verkefnisstjórnar 2. áfanga rammaáætlunar var verkefnisstjórn falið „að hafa viðtækt samráð við almenning og alla hagsmunaaðila á starfstíma sínum, m.a. með kynningarfundum og sérstökum vef með upplýsingum fyrir almenning og hagsmunaaðila.” Verkefnisstjórn leysti þetta með ýmsum hætti.

1. Settur var upp vefurinn www.rammaaetlun.is. Þar er að finna margvíslegar upplýsingar um verkefnið frá upphafi; bæði frá 1. og 2. áfanga. Þar er einnig að finna ýmislegt efni sem tengist vinnunni við rammaáætlun; skýrslur, greinargerðir og uppdrætti.
2. Með sérstökum samráðsfundum með stofnunum, fyrirtækjum og fulltrúum samtaka sem hafa hagsmuna að gæta.
3. Með því að standa fyrir opnum fundum þar sem almenningur, fyrirtæki og stofnanir gátu kynnt sér verkefnið og komið athugasemdum á framfæri.
4. Með því að taka þátt í fundum þar sem óskað var eftir kynningu á rammaáætlun.

Alls átti verkefnisstjórn og/eða formaður verkefnisstjórnar yfir 60 fundi til samráðs og/eða kynningar á verkefninu.

8.1 Samráðsfundir

Haustið 2008 bauð verkefnisstjórn til samráðsfunda með öllum þeim sem töldu sig hafa hagsmuna að gæta og/eða verkefnisstjórn bauð sérstaklega til fundar við sig. Tilgangur þessara funda var einkum sá að kynna þessum aðilum verkefnið, kalla eftir viðbrögðum og hugmyndum þeirra og mynda tengsl vegna þeirrar vinnu sem í hönd fór. Eftirtaldir mættu á þessa samráðsfundi verkefnisstjórnar:

6. júní 2008: Orkuveita Húsavíkur. Í tengslum við ferð verkefnisstjórnar um Þingeyjarsýslur
5. september: Félag leiðsögumanna, Hitaveita Suðurnesja, Landgræðsla ríkisins og Landsvirkjun
8. september: Alþýðusamband Íslands, Landssamband hestamanna, Landssamband stangveiðifélaga, Landssamband veiðifélaga, Landvernd, Náttúruverndarsamtök Íslands, Náttúruverndarsamtök Suðurlands, Samtök atvinnulífsins, Skógræktarfélag Íslands og Veiðimálastofnun
9. september: Bændasamtök Íslands, Framtíðarlandið, Orkuveita Reykjavíkur, Rarik og Útivist
31. október: Ferðafélag Íslands, Hálendisferðir og Íslenskir fjallaleiðsögumenn

8.2 Aðrar kynningar og kynningarfundir

Rammaáætlun var kynnt víða á fundum og málþingum þar sem eftir því var kallað eða ástæða þótti til.

12. október 2007: Umhverfisþing
3. nóvember 2007: Græna netið, opinn fundur
28. mars 2008: Ársfundur ÍSOR
19. janúar 2009: Meistaraneimar í lögfræði við Háskólann í Reykjavík
20. maí 2009: Ársfundur Byggðastofnunar
9. júní 2009: Opinn kynningarfundur í Þjóðminjasafni um virkjunarhugmyndir í 2. áfanga rammaáætlunar.
30. október 2009: Opinn kynningarfundur í Þjóðminjasafni um aðferðafræði faghópa.
12. nóvember 2009: Græna netið, opinn fundur.
19. febrúar 2011: Opið málþing á vegum VG í Reykjavík
31. mars 2011: Ársfundur Orkustofnunar
29. apríl 2011: Ráðstefna um orku og atvinnumál á Selfossi
26. maí 2011: Vorfundur Samorku á Akureyri

8.3 Kynningar fyrir samtök sveitarfélaga og þingflokka

Það kom fram í stjórnarsáttmála þeirrar ríkisstjórnar sem upphaflega skipaði verkefnisstjórn 2. áfanga árið 2007 að stjórnvöld ætluðu sér að koma málum þannig fyrir að niðurstöður rammaáætlunar fengju lögformlegan sess. Í skipunarbréfi verkefnisstjórnar segir um þetta: „Iðnaðarráðherra mun á grundvelli niðurstaðna skýrslu verkefnisstjórnar og að höfðu samráði við umhverfisráðherra og verkefnisstjórnina leggja fyrir Alþingi fyrir lok ársins 2009 tillögu að rammaáætlun um verndun og nýtingu náttúrusvæða með áherslu á vatnsafls- og jarðvarmasvæði.“

Í ljósi þessa m.a. var lögð á það áhersla að eiga samtöl við og halda kynningarfundum með stjórnmalamönnum, bæði af sveitarstjórnarstigi og þingmönnum.

Fundir með sveitarstjórnarmönnum

Haldnar voru kynningar með samtökum sveitarfélaga og stundum með hagsmunaaðilum í héraði í tengslum við þær.

18. september 2008: Samtök sveitarfélaga á Vesturlandi
9. október 2008: Eyþing, samtök sveitarfélaga í Eyjafirði og Þingeyjarsýslum. Í tengslum við þá kynningu var fundur með Norðurorku.
11. október 2008: Samtök sveitarfélaga á Suðurnesjum
19. október 2008: Samtök sveitarfélaga á Norðurlandi vestra

20. nóvember 2008: Samtök sunnlenskra sveitarfélaga. Í tengslum við þá kynningu var fundur með Þjórsársveitum.

20. mars 2009: Fjórðungssamband Vestfirðinga. Fundur á Ísafirði og í tengslum við hann voru haldnir fundir með eftirtöldum: Vesturverki, Náttúrustofu Vestfjarða, Náttúruverndarsamtökum Vestfjarða og Orkubúi Vestfjarða.

Fundir með þingmönnum

Haldnir voru sérstakir kynningarfundir fyrir þingflokka á árinu 2009.

3. júní: Þingflokkur Framsóknarflokksins og þingflokkur Samfylkingarinnar

10. júní: Þingflokkur Borgarahreyfingarinnar og þingflokkur Vinstri hreyfingarinnar, græns framboðs

24. júní: Þingflokkur Sjálfstæðisflokksins

8.4 Kynningarfundir og umsagnarferli vorið 2010

Vorið 2010 var efnt til opins kynningar- og umsagnarferlis um aðferðafræði og matsniðurstöður faghópa 2. áfanga rammaáætlunar. Í tengslum við þetta ferli efndi verkefnisstjórn til opinna funda víða um land þar sem formenn faghópa kynntu niðurstöður faghópa sinna og aðferðafræði og svöruðu fyrirspurnum fundargesta. Eftirtaldir fundir voru haldnir:

9. mars: Opnunarfundur í Skriðunni, fyrirlestrarsal Menntavísindadeildar Háskóla Íslands. Þeim fundi var varpað út þannig að hægt var að fylgjast með honum víða um land.

13. mars: Suðurland. Kynningarfundur á Hótel Selfossi.

13. mars: V-Skaftafellssýsla. Kynningarfundur á Kirkjubæjarklaustri.

23. mars: Kynningarfundur fyrir frjáls félagasamtök í Þjóðminjasafninu í Reykjavík.

29. mars: Norðurland eystra. Kynningarfundur í Skjólbrekku í Mývatnssveit.

30. mars: Norðurland vestra. Kynningarfundur í Hótel Varmahlíð.

31. mars: Vestfirðir. Kynningarfundur á Nauteyri við Ísafjarðardjúp.

12. apríl: Reykjanes. Kynningarfundur í Grindavík.

21. apríl: Reykjavík. Opinn kynningarfundur.

21. apríl: Kynningarfundur með Samorku.

Á forsiðu vefsins www.rammaaetlun.is má nálgast upptöku frá fyrsta fundinum. Þá eru þær athugasemdir sem bárust og viðbrögð faghópa og verkefnisstjórnar við þeim, einnig aðgengileg á vef rammaáætlunar.

9 Ábendingar og framhald

9.1 Almennt um framhald og ábendingar

Verkefnisstjórn 2. áfanga rammaáætlunar hefur verið að störfum frá hausti 2007. Vinna verkefnisstjórnar tekur til margra þátta og í vinnuferlinu, einkum á síðari stigum þess, hafa iðulega komið fram sjónarmið um það sem mikilvægt er talið að haft sé í huga við ákvarðanir um frekari vinnu við rammaáætlun. Það á bæði við um frekari rannsóknir og vinnubrögð. Ábendingar um slíkt koma m.a. fram í köflum faghópa, en í þessum kafla verður þess freistað að draga saman bæði það sem faghópar telja mikilvægt að koma á framfæri í ljósi reynslu sinnar, það sem fram kemur í greinargerðum í viðaukum, og það sem verkefnisstjórn telur mikilvægast að litið sé til við framhald þessarar vinnu. Í 9.2 er það talið til sem verkefnisstjórn og faghópar vilja leggja áherslu á vegna framhalds vinnunnar. Í 9.3 eru síðan áherslur sem einstakir fulltrúar í verkefnisstjórn telja að hafi ekki verið ræddar nægjanlega í þessum áfanga eða þyrfti að skoða betur í næsta áfanga.

Þá vill verkefnisstjórn benda á að mikil gögn úr umsagnarferlinu um niðurstöður faghópa eru á vef rammaáætlunar www.rammaaaetlun.is. Þar eru fyrirspurnir og ábendingar þeirra 39 aðila sem sendu inn bréf sem og viðbrögð faghópa og verkefnisstjórnar.

9.2 Ábendingar

9.2.1 Sjálfbær þróun

Eitt þeirra hugtaka sem ítrekað kom til umfjöllunar við vinnuna að 2. áfanga er sjálfbær þróun. Talað er um þrjár víddir sjálfbærrar þróunar sem eru háðar hver annarri: hina efnahagslegu, félagslegu og vistfræðilegu. Miklar umræður spunnust um vægi þessara þátta í vinnu við gerð rammaáætlunar. Þar tókust á sjónarmið um hve vel verkefnisstjórn leysti samfélagslega þáttinn og hversu djúpt verkefnisstjórn gæti farið í þann þátt. Í vinnu við rammaáætlun er verið að fjalla um virkjunarhugmyndir sem margar hverjar koma að líkindum aldrei til framkvæmda. Auk þess gerir erindisbréf verkefnisstjórnar ráð fyrir því að virkjunarhugmyndir séu bornar saman og þeim raðað. Í röðun skipta aðeins þau atriði máli sem eru með ólíkum hætti milli virkjana.

Sjálfbær þróun er ekki nefnd í erindisbréfi verkefnisstjórnar. Krafan um að hugmyndafræði hennar sé fylgt í allri skipulagningu og áætlanagerð er þó sífellt að verða sterkari. Í sama ljósi ber að skoða ósk iðnaðarráðherra sem vikið er að í kafla 2.3.3 og nefnd er einnig hér á eftir. Þá er nú ljóst að þingsályktunartillaga sem byggir á niðurstöðum rammaáætlunar þarf að fara í umhverfismat áætlana í samræmi við samnefnd lög en í 1. grein þeirra laga segir: „Markmið laga þessara er að stuðla að sjálfbærri þróun og draga úr neikvæðum umhverfisáhrifum og jafnframt að stuðla að því að við áætlanagerð sé tekið tillit til umhverfissjónarmiða. Það skal gert með umhverfismati tiltekinna skipulags- og framkvæmdaáætlana stjórnvalda sem líklegt er að hafi í för með sér veruleg áhrif á umhverfið.“

Það er nauðsynlegt fyrir vinnu næstu verkefnisstjórnar, og til framtíðar litið, að skilgreina betur betur þennan þátt í vinnu verkefnisstjórnar.

Þess var óskað af ráðherra, með sérstöku bréfi dags. 17. október 2007, að verkefnisstjórnin semdi drög að reglum er hafi það að markmiði að tryggja sjálfbæra nýtingu jarðvarma. Verkefnisstjórn gerðist í því skyni aðili að faghópi um sjálfbæra nýtingu jarðhita sem Orkustofnun, í samráði við fleiri aðila, kom á fót fyrri hluta árs 2008. Verkefnisstjórn tilnefndi fulltrúa í faghópinn en hann var skipaður jarðvísindamönnum og setur það sitt mark á niðurstöður hópsins. Faghópurinn hefur nú skilað álitsgerð um efnið⁶⁴ og er hún aðgengileg á vef rammaáætlunar. Samantekt á niðurstöðum er að finna í grein 2.3.3 í þessari skýrslu. Í töflu 2.3 er tillaga að markmiðum sjálfbærrar jarðhitanytingar sem verkefnisstjórn rammaáætlunar tók þátt í að móta. Talsverðar umræður fóru fram um skýrslu faghópsins í verkefnastjórninni og var ekki einhugur um að styðja allar þær hugmyndir sem þar komu fram eða samþykkja að þær uppfylltu skilyrði sjálfbærrar þróunar.

Á sviði vatnsorku hefur farið fram alþjóðlegt samstarf um matslykil til þess að fá fram sjálfbærnivísa með aðkomu Alþjóða vatnsorkusambandsins (IHA), ríkisstjórna Íslands, Noregs og Þýskalands og frjálsra félagasamtaka (NGOs). Hann verður lagður fram í endanlegum drögum til samþykktar á alþjóðlegu vatnsorkuþingi í IGUASSU í Brasilíu í júní 2011. Á vettvangi IEA er vinna hafin til þess að fá fram sjálfbærnivísa jarðhitans með sambærilegum hætti. Í næsta áfanga rammaáætlunar er því sá möguleiki fyrir hendi að setja vinnu rammaáætlunar í alþjóðlegt samhengi með því að tengja hana við þennan staðal, að sjálfsögðu með viðbótar áherslum sem taka mið af íslenskum aðstæðum eftir því sem þörf er á.

9.2.2 Samfélagsleg áhrif mögulegra virkjunarframkvæmda

Áhrif virkjunarframkvæmda á fólk eða áhrif framkvæmda á einstök samfélög hafa ekki komið nema að hluta til mats við gerð rammaáætlunar. Faghópur III þróaði líkan sem mat hvort framkvæmd væri líkleg til að hafa miklar eða litlar breytingar í för með sér. Það var skoðun faghópsins að niðurstaða mats hans gæfi mikilsverðar upplýsingar um umfang þeirra samfélagsbreytinga sem vænta mætti yrði ráðist í einstakar virkjanir þótt ekki væri hægt að mæla fyrirfram hverjar þær yrðu.

Verkefnisstjórn telur að setja eigi markið herra varðandi mat á samfélagsáhrifum og að nauðsynlegt sé að greina betur þau áhrif sem virkjunarframkvæmdir kunna að hafa á fólk og samfélög þess. Verkefnisstjórn leggur því til að þessum þætti verði frekari gaumur gefinn í áframhaldandi vinnu við rammaáætlun og að samanburðarrannsóknir verði gerðar til að meta ýmis staðbundin og óáþreifanleg samfélagsáhrif. Einnig þarf að þróa aðferðafræði til að meta slík áhrif sem nýttist við mat rammaáætlunar. Verkefnisstjórn leggur til að sérstakur faghópur fjalli um áhrif virkjunarframkvæmda á fólk og samfélög þess í næsta áfanga rammaáætlunar þannig mætti þróa enn frekar þær aðferðir sem beita má við mat af þessu tagi og að halda utan um þær rannsóknir sem gera þarf.

Rannsóknum á samfélagsáhrifum virkjunarframkvæmda er að fjölga og þar með eykst þekking á þessu sviði. Til dæmis voru gerðar viðamiklar rannsóknir á samfélagslegum áhrifum stórframkvæmda á Austurlandi þegar virkjun við Kárahnúka var byggð og álver á Reyðarfirði. Þær rannsóknir stóðu yfir allan framkvæmdatímann, eða í fimm ár. Niðurstöður þeirra rannsókna

⁶⁴ Jónas Ketilsson, Axel Björnsson, Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, Bjarni Pálsson, Grímur Björnsson, Guðni Axelsson og KristjáSæmundsson, 2011. *Eðli jarðhitans og sjálfbær nýting hans. Álitsgerð faghóps um sjálfbæra nýtingu jarðhita*. Orkustofnun, Skýrsla nr. : OS-2010/05, 138 bls

liggja fyrir.⁶⁵ Einnig má nefna tvær nýlegar doktorsritgerðir á þessu sviði.⁶⁶

Betri þekking á þessum þætti orkunýtingar væri bæði mikilvægt framlag til frekari vinnu við rammaáætlun og kæmi enn fremur til góða þeim samfélögum sem í framtíðinni þurfa að takast á við spurningar um hvort og hvernig eigi að nýta þá orku sem er til staðar í þeirra heimabyggð.

9.2.3 Mótvægisaðgerðir

Mótvægisaðgerðum er ætlað að fyrirbyggja eða draga úr neikvæðum áhrifum framkvæmdar. Í leiðbeiningum Skipulagsstofnunar um umhverfismat áætlana⁶⁷ er þeim lýst svo:

„*Mildun umhverfisáhrifa/mótvægisaðgerðir*: Aðgerðir sem ekki eru nauðsynlegur hluti framkvæmdar áætlunar, en gripið er til við breytingar á stefnu áætlunar, við nánari útfærslu stefnu í öðrum áætlunum, við hönnun einstakra framkvæmda eða að framkvæmdum loknum, í þeim tilgangi að koma í veg fyrir, draga úr eða bæta fyrir neikvæð umhverfisáhrif sem áætlun kann að hafa í för með sér.“

Við frumhönnun virkjunar á að fara að lögum um náttúruvernd og velja þær leiðir í framkvæmdum sem halda jarðraski í lágmarki. Hugmyndir um mótvægisaðgerðir eru reifaðar en sjaldnast útfærðar nánar á þessu stigi. Þegar kemur að verkhönnun og lögbundnu mati á umhverfisáhrifum framkvæmdar fylgja hönnuðir leiðbeiningum Skipulagsstofnunar⁶⁸ sem segja m.a.:

„Við matsvinnu þarf, ef ástæða er til, að leita aðgerða sem geta komið í veg fyrir, dregið úr eða bætt fyrir neikvæð umhverfisáhrif framkvæmdar og gera grein fyrir þeim í frummatsskýrslu. Mótvægisaðgerðir felast í aðgerðum sem ekki eru nauðsynlegur þáttur framkvæmdar, en gripið er til á hönnunartíma, framkvæmdatíma eða að loknum framkvæmdum.

- Leita þarf aðgerða til mótvægis við neikvæð umhverfisáhrif framkvæmdar þar sem þess er kostur og sýna hvernig aðgerðirnar eiga að bera árangur.
- Gera þarf grein fyrir áhrifum sem ekki er hægt að draga úr, koma í veg fyrir eða bæta fyrir og rökstyðja hvers vegna ókleift var að finna aðgerðir til mótvægis.

Hverjar viðeigandi mótvægisaðgerðir eru fer eftir eðli framkvæmdar, umhverfisáhrifum hennar og aðstæðum í hverju tilviki. Þær geta m.a. falist í uppgræðslu lands, endurheimt votlendis, gerð hljóðvarna, hljóðeinangrandi aðgerðum á húsum o.s.frv. Gera þarf grein fyrir hugsanlegum umhverfisáhrifum af mótvægisaðgerðum. Mótvægisaðgerðir þurfa að vera skilgreindar, afmarkaðar og framkvæmanlegar svo að hægt sé að leggja mat á heildaráhrif framkvæmdar þegar kemur að ákvarðanatöku. Mikilvægt er því að í frummatsskýrslu komi skýrt fram til hvaða mótvægisaðgerða, af þeim sem til greina koma, framkvæmdaraðili hyggst grípa.

⁶⁵ http://www.rha.is/is/page/utgefid_efni_2010

⁶⁶ Unnur Birna Karlsdóttir, 2010. *Náttúrusýn og nýting fallvatna. Um viðhorf til náttúru og vatnsaflsvirkjana á Íslandi 1900-2008*. Doktorsritgerð, Háskóli Íslands.

Helga Ögmundardóttir, 2011. *The Shepherds of Þjórsárver: Traditional Use and Hydropower Development in the Commons of the Icelandic Highland*. Doktorsritgerð, Uppsala Universitet, 2011.

⁶⁷ Skipulagsstofnun. *Leiðbeiningar um umhverfismat áætlana*. Apríl 2007, sjá hugtakaskrá bls.53.

⁶⁸ Skipulagsstofnun. *Leiðbeiningar um mat á umhverfisáhrifum framkvæmda*. Útgefið í desember 2005.

Dæmi um mótvægisáðgerðir með uppgræðslu lands eða endurheimt votlendis.

Ef framkvæmdaraðili hyggst grípa til mótvægisáðgerða sem felast í uppgræðslu lands eða endurheimt votlendis í stað gróðurlendis sem raskast við framkvæmdir þarf að greina frá tilhögun og staðsetningu áðgerðanna. T.d. þarf að tiltaka hvar og hvenær uppgræðsla eða endurheimt votlendis sé fyrirhuguð, æskilegt er að greina frá umfangi og hugsanlegum umhverfisáhrifum áðgerðanna og því hver muni bera ábyrgð á framkvæmd þeirra. Þá þarf að sýna fram á að framkvæmdaraðili hafi kost á uppgræðslusvæðinu eða því votlendi sem ráðgert er að endurheimta ...“

Í mati faghópa 2. áfanga rammaáætlunar sátu allar virkjunarhugmyndir við sama borð. Þær hugmyndir sem farið hafa gegnum mat á umhverfisáhrifum framkvæmda eru mun nánar útfærðar en hugmyndir á stigi frumhönnunar og því ætti af gögnum að vera ljóst til hvaða mótvægisáðgerða er ráðgert að grípa. Þær njóta þessa jafnframt í mati faghópa ef ekki eru uppi álitamál um hvort áðgerðirnar nái þeim markmiðum sem þeim eru sett.

9.2.4 Jaðarsvæði og grannsvæði verndarsvæða

Oft er óljóst hvað heimilt er á jaðarsvæðum og grannsvæðum verndarsvæða. Meðal áhrifa starfsemi á jaðarsvæðum mætti nefna sjónræn áhrif, raflínur, umferð, mengun og röskun grunnvatnsstöðu. Grunnvatn og rennandi vatn á yfirborði virða engin landamæri. Vinnsla úr borholum á jaðarsvæði getur haft viðtak áhrif á þrýsting jarðhitakerfis innan verndarsvæðis. Veitur yfirborðsvatns geta einnig raskað írennsli í grunnvatn og breytt stöðu þess á stórum landsvæðum.

Um þessi atriði þarf skýrari reglur og jafnvel lagaákvæði.

9.2.5 Frekari flokkun á vatnsföllum

Þegar kemur að virkjunarhugmyndum í minni vatnsföllum og á láglendi, er víst að ýmsir þættir, sem lítið vægi höfðu í 1. og 2. áfanga, þurfa meiri athygli, svo sem veiðihlunnindi og nálægð við byggð. Útivistargildi svæða á láglendi er síst ómerkilegra en á hálendi. Flokkun vatnsfalla eftir megin einkennum í rennsli og farvegagerð mundi gagnast vel við að gera upp á milli þeirra sjónarmiða sem munu ráða mati á þeim virkjunarhugmyndum sem enn hafa ekki verið teknir fyrir. Viðmið þeirrar flokkunar yrði t.d. fjölbreytni, fágæti og mikilfengleiki í gerð og ásýnd vatnsfallanna sjálfra með og án næsta nágrennis.

Í nýjum lögum um stjórn vatnamála er tiltekið að flokka skuli yfirborðsvatn t.d. allt vatn í stöðuvatni eða á. Sú flokkun tæki mið af gæðum lífríkis í vatni, en að auki mögulegri röskun á legu vatna, efnainnihaldi þeirra eða eðlisástandi. Markmiðið er að flokka vatn eftir vistfræðilegu ástandi þess í fimm gæðaflokka, þ.e. mjög gott, gott, ekki viðunandi, slakt og lélegt. Þessari flokkun skal vera lokið fyrir 1. janúar 2013. Í lögum um verndar- og orkunýtingaráætlun segir að verkefnisstjórn skuli hafa samráð við Umhverfisstofnun til að tryggja samræmi verndar- og orkunýtingaráætlunar og vatnaáætlunar samkvæmt lögum um stjórn vatnamála. Gera verður því ráð fyrir að verkefnisstjórn rammaáætlunar og Umhverfisstofnun muni samþætta frekari upplýsingaöflun um yfirborðsvatn og hvaða þætti mikilvægast er að skoða.

Í stað þess að gera áætlanir um smávirkanir hefur Orkustofnun stuðlað að gerð almenns

afrennsliskorts, sem er tengt rennslislíkönum frá fjölmörgum vatnsföllum⁶⁹. Það ætti að gagnast þeim sem leita vilja að hugmyndum til smárra virkjana. Krafa í lögum um stjórn vatnamála að gæði vatns megi ekki versna mun að auki setja smávirkjunum skorður og tryggja að áhrif þeirra verði lágmarkuð.

9.2.6 Hvaða rannsóknargögn þarf við vinnu rammaáætlunar ?

Mjög er mismunandi hve ítarleg gögn eru til um þær virkjunarhugmyndir sem koma til mats verkefnisstjórnar rammaáætlunar. Sumar þeirra hafa farið í gegnum mat á umhverfisáhrifum með tilheyrandi gagnaöflun á meðan lítið sem ekkert er til um aðrar.

Í 9. gr. laga um verndar- og orkunýtingaráætlun segir: *Beiðni um að verkefnisstjórn fjalli um virkjunarkost skal send Orkustofnun. Beiðninni skal fylgja lýsing á fyrirhugaðri virkjun, áætluðum virkjunarstað, helstu mannvirkjum og öðrum framkvæmdum sem henni tengjast og eftir því sem kostur er áætlun um afl og orkugetu og stofn- og rekstrarkostnað virkjunar. Um þetta skal nánar fyrir mælt í reglugerð. Ef virkjunarkostur er að mati Orkustofnunar nægilega skilgreindur skal verkefnisstjórn fá hann til umfjöllunar.*

Skilgreina þarf þau viðmið sem rammaáætlun á að grundvallast á, bæði varðandi umfang og nákvæmni gagna og þau rannsóknargögn sem þarf til vinnu við rammaáætlun. Þannig yrði tryggt að þeim virkjunarhugmyndum sem koma til mats fylgi nægar upplýsingar og gögn til að þær fái mat.

Leggja þarf mat á mótvægisáðgerðir þar sem þeim er lýst í virkjunarskýrslum, mati á umhverfisáhrifum eða álit Skipulagsstofnunar og úrskurði umhverfisráðherra.

9.2.7 Ábendingar frá faghópi I

Íslenskt landslag, einkum fagurfræðilegt, upplifunar- og tilfinningalegt gildi þess. Þessi þáttur skipti miklu máli fyrir almenning, fyrir heimamenn á mögulegum virkjunarsvæðum og almennt fyrir þá sem láta sig íslenska náttúru og menningarminjar varða.

Hitakærar örverur.

Mikilvægt er að bæta við rannsóknum, þannig að yfirsýn fáið um öll svæði með viðtækri ummyndun á yfirborði og a.m.k. úrtak háhitasvæða með takmarkaðri ummyndun.

Verndargildi háhitasvæða

Brýnt er að fá heildstæðari mynd af verndargildi háhitasvæða, þar með talið mat á sérstöðu íslenskra svæða í alþjóðlegu samhengi, svo sem í landslagi, jarðefnafræði, jarðvarmafræði, og svo vistfræðilegri sérstöðu og líffræðilegri fjölbreytni.

Fjaráhrif og óbein áhrif stórra vatnsaflsvirkjana á lífríki sjávar.

Auka þarf þekkingu á fjaráhrifum og óbeinum áhrifum stórra vatnsaflsvirkjana. Hér er einkum átt við hugsanleg áhrif á lífríki sjávar, á uppeldisskilyrði fiskistofna og á strandrof og aðrar breytingar á strandlínu. Rannsóknarverkefni á vistfræðilegum tengslum ferskvatnsrennslis til sjávar og hrygningar og klaks þorsks er hafið á vegum Háskóla Íslands og Hafrannsóknastofnunarinnar.

⁶⁹ Jóna Finndís Jónsdóttir og Bergur Einarsson 2006. *Nýtt mat á afrennslis Íslands, frumniðurstöður*. Orkustofnun, Vatna-
mælingar. Greinargerð JFJ-BEE-2006/01.

Forspárgildi um fok frá uppistöðulónum og farvegum.

Mikilvægt er að bæta forspárgildi varðandi fok frá uppistöðulónum og úr árfarvegum sem þorna tímabundið að miklu eða mestu leyti við virkjun.

9.2.8 Ábendingar frá faghópi II

Þróun aðferðafræði.

Æskilegt er að þróa þá aðferð sem beitt var við mat á ferðamennsku og útivist enn frekar meðal annars með því að nota betri hugbúnað, gagnagrunn og landfræðileg upplýsingakerfi. Slík vinna mun auðvelda vinnu sérfræðinga og jafnframt gera hagsmunaaðilum og almenningi auðveldara að fá yfirsýn yfir forsendur og niðurstöður áhrifamats.

Mat á ferðasvæðum í nágrenni höfuðborgarinnar.

Ferðamennska á hálendinu er viðkvæmust fyrir orkumannvirkjum og í aðferð faghópsins var því lögð megin áhersla að ná til hennar. Þetta hefur áhrif á mat á svæðum í nágrenni höfuðborgarinnar og einnig á svæðum á jaðri hálendisins þar sem aðferðin á ekki eins vel við. Mikilvægi lítt snortinna svæða í nágrenni höfuðborgarinnar er líklega eitthvað vanmetið, bæði fyrir útivist þeirra sem þar búa og fyrir ferðaþjónustuna á höfuðborgarsvæðinu. Úr þessu mætti bæta í framtíðinni.

Mat á mikilvægi útivistar og gildi hennar fyrir lífsgæði og lýðheilsu.

Slíkt mat mundi snúa bæði að heimamönnum og innlendum sem erlendum ferðamönnum. Þekking á því hverskonar umhverfi hefur gildi fyrir þann sem nýtur útivistarinnar þarf að vera hluti af rannsóknarefninu. Með breyttu samfélagsmynstri og atvinnuháttum síðustu áratuga hafa bæði viðhorf til útivistar og þörfin fyrir að njóta náttúrunnar breyst verulega.

Samanburðarrannsóknir á ferðamennsku og útivist fyrir og eftir virkjun.

Áhrif á upplifun, dvalarlengd og til hvaða markhópa viðkomandi svæði höfðar fyrir og eftir virkjun þurfa að vera hluti rannsóknarinnar.

Áætlun um ferðamennsku á miðhálendi Íslands.

Á vegum ráðuneytis ferðamála og Ferðamálastofu er nú hafin vinna við áætlun um ferðamennsku á miðhálendi Íslands og byggir sú vinna að hluta á vinnu faghóps II í 2. áfanga rammaáætlunar. Rannsóknin snýr einnig að þölmörkum ferðamennsku á svæðunum (náttúru, innviðum og upplifun ferðamanna) og mati á virði ferðamannastaða. Könnun á viðhorfum ferðaþjónustunnar til nýtingar hálendisins og hvernig hún vill nýta það í framtíðinni er hluti af verkefninu. Með hliðsjón af þessu verður gerð áætlun fyrir ferðamennsku á hálendinu. Mikilvægt er að verkefninu verði tryggt brautargengi og mun það þá nýtast við áframhaldandi vinnu við rammaáætlun auk annarrar mikilvægrar nýtingar við skipulag og stefnumótun um heildarnýtingu auðlindarinnar sem hálendið er, hvort sem litið er til orkunýtingar, verndunar eða ferðamennsku.

Lítt raskað landslag og landslagsheildir.

Þörf er á frekari rannsóknum á þessu sviði og geta rannsóknir þær sem faghópur I leggur til að unnar verði út frá verndun landslags (kafla 3.7) og rannsóknir á mikilvægi landslags tengt útivist og ferðaþjónustu átt samleið.

9.2.9 Ábendingar frá faghópi III

Megin viðfangsefni faghóps III var að þróa aðferð sem hægt væri að nota til að meta samfélagsleg og þjóðhagsleg áhrif virkjana. Lykilforsenda í erindisbréfi verkefnisstjórnar er að virkjunarhugmyndum sé raðað. Í þeirri vinnu lagði hópurinn áherslu á að finna aðferð sem unnt væri að beita, miðað við þau gögn og rannsóknir sem voru fyrirliggjandi meðan á vinnunni stóð, og tæki á þeim þáttum sem búast má við að verði með ólíkum hætti í virkjunum.

Afraksturinn er líkan sem nota má til að áætla umfang samfélagslegra áhrifa einnar virkjunar í samanburði við aðra, án þess að matið verði yfirfært á neinn algildan kvarða. Sú mynd sem fæst á þennan hátt er ekki mjög nákvæm. Í vinnu faghópsins var mjög stuðst við rannsóknir sem Hagfræðistofnun Háskóla Íslands hefur gert á efnahagslegum áhrifum stóriðju á Íslandi sem og rannsóknir fræðimanna við Háskólann á Akureyri á samfélagslegum áhrifum stóriðjuframkvæmda á Austurlandi. Takmarkaðri upplýsingar er hins vegar að hafa um langtímaáhrif virkjana í sínu nánasta umhverfi.

Samanburðarrannsóknir til að meta ýmis staðbundin og óáþreifanleg samfélagsáhrif. Betri þekking á þessum þætti orkunýtingar væri bæði mikilvægt framlag til frekari vinnu við rammaáætlun og kæmi ennfremur mjög til góða þeim samfélögum sem í framtíðinni þurfa að takast á við spurningar um hvort og hvernig eigi að nýta þá orku sem er til staðar í þeirra heimabyggð.

9.2.10 Ábendingar frá faghópi IV

Línur og tengivirki.

Til undirbúnings næsta áfanga rammaáætlunar þarf að skilgreina aðkomu Landsnets að verkefninu og gera nauðsynlegar ráðstafanir til þess að fyrirtækið geti komið að því.

Kostnaðarútreikningar, markmið, takmarkanir.

Á endanum hlýtur það að vera ákvörðun orkufyrirtækisins hvort nægileg hagkvæmni sé fyrir hendi til þess að hefja framkvæmdir og það byggir ekki síst á þeim orkusölusamningum sem nást á hverjum tíma. Hins vegar er afkoma virkjunaráfanga til lengri tíma mikilvægur þáttur í því að meta jákvæð efnahagsleg áhrif virkjunarinnar. Einn möguleiki gæti verið að sem hluti af undirbúningi næsta áfanga verði gert einhvers konar staðlað fjárfestingar- og rekstrarlíkan til lengri tíma fyrir vatnsorkuver annars vegar og varmaorkuver hins vegar.

Geislatengdar byggðir.

Á veitusvæði Rarik og Orkubús Vestfjarða eru byggðakjarnar og dreifbýli sem eru geislatengd, þ.e. með einni flutningslínu þannig að hætta á rekstrartruflunum er meiri en annars staðar. Á þessum svæðum þarf að huga að jafnvel minni virkjunarmöguleikum sem þjónuðu sem varaafli fyrir þessar byggðir, jafnframt því að framleiða raforku. Þetta eru einu byggðirnar þar sem virkjanir eru nauðsynlegar til þess að tryggja gæði og afhendingaröryggi raforku fyrir almennan markað.

Nýir orkugjafar.

Virkjunarhugmyndir sem byggja á virkjun vinds, sjávarfalla og ölduhreyfinga gætu fljótlega ratað inn á borð rammaáætlunar.

Rannsókn á orkulindum.

Til að tryggja einhvers konar samkeppni aðila sem hafa áhuga á einstökum virkjanasvæðum, verður ríkið að taka frumkvæði í rannsóknum á þeim orkulindum sem það ræður. Nýsköpun og tækniþróun í yfirborðsrannsóknunum hefur þar mikla þýðingu. Ríkið ætti að efla almennar rannsóknir á náttúrufari, menningarminjum og orkulindum landsins að því marki að þær nægi fyrir rammaáætlun.

Eðli og upptök jarðhitaauðlindarinnar.

Frekari rannsóknir á rótum jarðhitakerfa og kvikuinnskotum og djúpboranir eru rannsóknarverkefni sem eru líkleg til þess að auka þekkingu okkar og möguleika til þess að nýta auðlindina með mun skilvirkari hætti.

Ein afleiðing af þeim hugmyndum sem fram hafa komið, t.d. í auðlindanefnd iðnaðarráðuneytisins undir stjórn Karls Axelssonar⁷⁰, er að ríkið verður að taka frumkvæði í rannsóknum á þeim orkulindum sem það ræður. Önnur ástæða til þessa er sú, að tryggja verður einhvers konar samkeppni milli aðila sem hafa áhuga á einstökum virkjunarsvæðum og til þess þarf þekkingu á auðlindinni og vandaðan undirbúning. Í þriðja lagi má leiða líkur að því að stærri nýtanlegar jarðhitalindir séu enn ófundnar. Nýsköpun og tækniþróun í yfirborðsrannsóknum hefur hér mikla þýðingu. Eins er mikilvægt að auka þekkingu á eðli og upptökum jarðhitaauðlindarinnar. Frekari rannsóknir á rótum jarðhitakerfa og kvikuinnskotum og djúpboranir eru verkefni sem eru líkleg til þess að auka þekkingu okkar og möguleika til þess að nýta auðlindina með mun skilvirkari hætti. Íslenskir vísindamenn hafa stillt saman strengi með því að stofna rannsóknaklasann GEORG og Ísland tekur þátt í alþjóðlegu vísinda- og þróunarsamstarfi um þróun jarðhitavinnslu á sviði Alþjóða jarðhitasambandsins (IGA), Alþjóða orkumálaskrifstofunnar (IEA), og í sérstöku samstarfi Íslands, Bandaríkjanna, Ástralíu og Sviss um tækniþróun í jarðhitaíðnaðinum (IPGT) og í undirbúningi er stórt evrópuverkefni um samhæfingu jarðhitarannsókna og þekkingarmiðlunar á sviði jarðhita undir forystu Íslands, svokallað ERANET verkefni. Á sviði vatnsorku ber hæst samstarf um matslykil til þess að fá fram sjálfbærnivísa með aðkomu Alþjóða vatnsorkusambandsins (IHA), ríkisstjórna Íslands, Noregs og Þýskalands og frjálsra félagasamtaka (NGOs) sem verður lagður fram í endanlegum drögum til samþykktar á alþjóðlegu vatnsorkuþingi í IGUASSU í Brasilíu í júní 2011. Á vettvangi IEA er sambærileg vinna hafin til þess að fá fram sjálfbærnivísa jarðhitans með sambærilegum hætti. Í næsta áfanga rammaáætlunar er því sá möguleiki fyrir hendi að setja vinnu rammaáætlunar í alþjóðlegt samhengi með því að tengja hana við þennan staðal, að sjálfsögðu með viðbótar áherslum sem taka mið af íslenskum aðstæðum eftir því sem þörf er á.

⁷⁰ Iðnaðarráðuneytið, 2006. *Framtíðarsýn um verndun og nýtingu auðlinda í jörðu og vatnsafls*. Auðlindanefnd iðnaðarráðuneytisins, form. Karl Axelsson, október 2006, 100 bls.

9.3 Ábendingar og athugasemdir frá fulltrúum í verkefnisstjórn

9.3.1 Rammaáætlun og fornleifaarfurinn

Eftirfarandi ábendingar og tillögur eru komnar eru frá Kristínu Huld Sigurðardóttur, forstöðumanni Fornleifaverndar ríkisins, sem tilnefnd var í verkefnisstjórnina af mennta- og menningarmálaráðherra.

Eins og kemur glögggt fram í skipunarbréfi verkefnisstjórnar rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma frá 21. ágúst 2007, var áherslan í þessum áfanga lögð á vernd og nýtingu náttúrusvæða með áherslu á vatnsafls- og jarðhitasvæði. Í skipunarbréfinu kom einnig fram að meta ætti áhrif virkjana á menningarminjar, en þar er ekki fjallað um vernd minjanna á sama hátt og náttúrusvæðanna.⁷¹

Minjavarðslan á Íslandi telur nauðsynlegt að vekja athygli á að fornleifar eru afgerandi þáttur í íslensku umhverfi. Það er mat hennar að horfa beri á umhverfi og landslag í víðara samhengi en gert hefur verið fram að þessu og að minjar verði teknar inn til jafns við náttúru í allri framtíðarvinnu varðandi umhverfi landsins.

Gróflega er áætlað að fornleifar á Íslandi, minjar sem eru 100 ára og eldri, gætu verið um 200 þúsund. Þær dreifast um allt land, jafnt um byggð sem óbyggðir. Áætlunin er gróf vegna þess að andstætt náttúrunni, sem er sýnileg, þá er meiri hluti fornleifanna neðanjarðar, eðli sínu samkvæmt, og því ósýnilegur á yfirborði jarðar. Samkvæmt gildandi Þjóðminjalögum nr. 107/2001 er horft til þess að minjar landsins séu ekki eign einnar kynslóðar, þeirrar sem dregur andann í dag, heldur eru þær sameiginlegur þjóðararfur okkar frá fyrri kynslóðum og lögð áhersla á að seinni kynslóðir eiga rétt til hans úr okkar höndum.⁷² Sama hugsun liggur að baki þeirra samninga sem Ísland hefur undirritað varðandi fornleifar: *Evrópusamning um vernd fornleifaarfsins/European Convention on the Protection of the Archaeological Heritage* og *Samningi UNESCO um verndun menningar- og náttúruarfleifðar heimsins/Convention for the Protection of the World Cultural and Natural Heritage (C42/1995)*. Samkvæmt þeim hafa Íslendingar skuldbundið sig til að vernda menningararfinn og þekkingu um hann fyrir komandi kynslóðir.⁷³

Grunnforsenda þess að hægt sé að taka ákvarðanir um menningararfinn er að þekkja hann og geta greint hann. Það gefur auga leið að til þess að vernda menningarminjar þurfum við að vita hvar þær eru, hverjar þær eru og í hvernig ástandi þær eru.

Það háði allri vinnu fornleifafræðinga við rammaáætlun að grunnrannsóknir eins og fornleifaskráningu skortir víðast hvar á landinu. Skráning fornleifa er það skammt á veg komin að enn eru um 70% fornleifa landsins óskráðar samkvæmt greiningu Fornleifaverndar ríkisins. Ástæða þess að skráningin er ekki lengra á veg komin er einföld. Það hefur ekki enn verið veitt nauðsynlegu fjármagni til slíkrar vinnu. Samkvæmt núgildandi Þjóðminjalögum nr. 107/2001 á hver sá sem ber ábyrgð á skipulagi að láta skrá fornleifar við gerð skipulags eða endurskoðun

⁷¹ Skipunarbréf til verkefnisstjórnar dags. Í Reykjavík, 21. ágúst 2007.

⁷² <http://www.althingi.is/lagas/nuna/2001107.html>

⁷³ <http://conventions.coe.int/Treaty/EN/Treaties/PDF/Icelandic/143-Icelandic.pdf>; <http://brunnur.stjr.is/mrn/logogregl.nsf/nrar/auglysingar421995>

þess. Margt sveitarfélagið hefur óað við þeim kostnaði sem fylgir fornleifaskráningunni. Reynt hefur verið að koma til móts við sveitarfélögin með því að takmarka skráningu við ákveðin svæði og leggja áherslu á fornleifaskráningu á þéttbýlisstöðum og svæðum í byggð þar sem líklegt er talið að framkvæmdir gætu raskað fornleifum. Ein afleiðing þessa er að þau svæði sem eru til umfjöllunar í rammaáætlun lenda oft á tíðum fyrir utan þessi áherslusvæði og eru yfirleitt ekki rannsökuð fyrr en kemur að umhverfismati vegna framkvæmda.

Stór hluti þeirra svæða sem komu til umfjöllunar í 1. áfanga rammaáætlunar var óskráður og var það enn þegar unnið var að 2. áfanga. Þau sem unnu við 1. áfanga höfðu yfirleitt ekki grunnrannsóknir, þ.e. vettvangsskráningu á fornleifum til að styðjast við heldur einungis skráðar heimildir þar sem vantar inn upplýsingar um fjölda fornleifa. Þau þurftu í sumum tilfellum að reiða sig á heimildaskráningu fornfræðinga frá 19. öld. Slíkt er ótækt og óforsvaranlegt að fornleifafræðingum á 21. öldinni sé gert að vinna á þann hátt. Til að meta fornleifar er nauðsynlegt að styðjast við grunnrannsóknir sem byggja á vettvangsskráningu fornleifa. Slíkar rannsóknir eru nauðsynlegar til þess að minjayfirvöld geti gert sér einhverjar hugmyndir um hverjar líkur séu á að menningarminjar verði fyrir skaða vegna virkjunarframkvæmda. Fyrir 2. áfanga fékkst fjármagn til að vettvangsskrá fornleifar á háhitasvæðum. Sú vinna nýttist gríðarlega vel þegar kom að matinu sjálfu, enda má sjá á athugasemdum að mun færri og lítilvægari athugasemdir komu vegna mats á menningarminjum á háhitasvæðum en við sams konar mati á vatnsaflssvæðum, sem mörg hver eru enn óskráð eða einungis skráð að hluta. Í allri framhaldsvinnu varðandi rammaáætlun verður að muna eftir að skráning fornleifa á svæðunum er skammt á veg komin. Til þess að hægt verði að vinna markvisst að mati á hugsanlegum virkjunarsvæðum er nauðsynlegt að veitt verði fjármagni til nákvæmrar skráningar á minjum á þeim svæðum sem hafa ekki verið skráð.

Vert er að hafa í huga að á nokkrum fyrirhuguðum virkjunarsvæðum eru menningarminjar sem eru einstakar og mikilvægar á landsvísu, og jafnframt menningar- og náttúruminjar sem teljast mikilvægar á heimsvísu. Íslensku útilegumannaminjarnar eru fáar en þær eru einstakur menningararfur sem ber að varðveita. Einnig ber þar að telja með minjar um brennisteinsnám, veiðar á hálendinu (gæsaréttir) og fornar hálendisbyggðir í Skagafirði sem teygja uppruna sinn allt til landnáms. Heimsminjanefnd Íslands vinnur að því að fá forn- og náttúruminjar færðar inn á heimsminjaskrá UNESCO. Meðal þeirra svæða sem eru til skoðunar hjá nefndinni er Torfajökulssvæðið og ýmis svæði sem tengjast Atlantshafshryggnum, eins og Gjástykki og jafnvel Reykjanessvæðið, en þar er jafnframt að finna mjög merkilegar útilegumannabyggðir ásamt fleiri fornleifum.

Allar fornleifar og menningarlandslag á Íslandi, 100 ára og eldra, eru friðuð samkvæmt nágildandi þjóðminjalögum nr. 107/2001. Það er til annar veigameiri verndarflokkur, sem eru minjar sem eru friðlýstar sérstaklega með þinglýsingu. Margar fornleifar sem fjallað hefur verið um í vinnu við rammaáætlun eru slíkar minjar, þær hafa verið friðlýstar því þær eru taldar þess eðlis að það eigi að varðveita þær um ókomna framtíð. Nauðsynlegt er að meðhöndla friðlýstu minjasvæðin á sama hátt og friðlýst náttúrusvæði í allri vinnu við rammaáætlun.

Fornleifar og menningarlandslag eru þáttur í menningarferðapjónustu allra landa og telur Fornleifavernd ríkisins ástæðu til að minna á það. Það má ekki gleyma því að vörður og leiðir, 100 ára og eldri, sem ferðamenn fara eftir teljast til fornleifa. Vert er að benda á könnun sem

Ferðamálastofa lét gera árið 2010 en þar kom fram að þrátt fyrir að um 82% ferðamanna sem komu til Íslands segðust vera komnir vegna áhuga á íslenskri náttúru þá sögðust jafnframt 32% ferðamanna líka vera hér vegna áhuga á íslenskri menningu og sögu.⁷⁴ Þessu má ekki gleyma í allri umfjöllun og skipulagi vegna ferðaþjónustu á Íslandi. Einkum þegar haft er í huga það sem kemur fram í erlendum rannsóknum á ferðamennsku en það er að menningarferðamennska er að aukast alls staðar í heiminum og eru svokallaðir menningarferðamenn nú um 30 – 40% ferðamanna víðast hvar.⁷⁵

Það er mat Fornleifaverndar ríkisins að í framtíðarvinnu með rammaáætlun sé eðlilegt að fjallað sé um menningarminjar til jafns á við náttúru þegar lagt verður mat á ferðaþjónustu á Íslandi.

Hafa verður í huga í allri framtíðarvinnu varðandi rammaáætlun að umhverfið felst ekki einungis í náttúru, þar leynast einnig hundruð þúsunda fornleifa. Fornleifarnar mynda einnig mikilvægt landslag rétt eins og náttúran og er menningar- eða búsetulandslagið hluti af menningararfi okkar eins og kemur fram í lögum nr. 107/2001. Íslenskir fornleifafræðingar eru skemmra á veg komnir í að greina landslagstegundir en starfssystkini þeirra í löndunum umhverfis okkur, en vinnan er hafin. Það er nauðsynlegt að sú vinna haldi áfram og að greining á menningarlandslagi og hinum mismunandi tegundum þess verði hluti af framhaldsvinnunni. Hafa ber í huga að landslagssáttmáli Evrópu sem er til kominn vegna nauðsynjar þess að vernda landslagsgerðir í Evrópu byggir bæði á vernd menningarlandslags og náttúrunnar. En þar segir m.a. „*Landslag merkir svæði eins og almenningur skynjar það, þar sem ásýndin einkennist af náttúrulegum og/ eða manngerðum þáttum og samspili þeirra.*”⁷⁶

Vöktun fornleifa og menningarlandslags ætti að vera mikilvægur þáttur í allri vinnu við áhrifamat af völdum virkjana. Nokkuð skortir á þekkingu á hvernig til hefur tekist með mótvægisáðgerðir vegna fornleifa við virkjunarframkvæmdir. Virkjanir, lón og aðrar framkvæmdir tengdar virkjunum hafa oft áhrif á minjar sem varðveittar eru í umhverfinu. Til að unnt sé að glöggva sig betur á hvort verið er að taka réttar ákvarðanir varðandi verndun menningarminja er nauðsynlegt að auka eftirfylgni, rannsóknir og vöktun menningarminja á áhrifasvæðum virkjananna.

Að endingu vill Fornleifavernd ríkisins gera orð Wangari Maathai, friðarverðlaunahafa Nóbels 2004 að sínum:

„Menningararfurinn vísar leið til óþekktrar framtíðar og er lykill að fortíðinni. Án hans stendur þjóðfélagið veikum fótum og glatar inntaki sínu“.

Friðlýstar og friðaðar fornleifar.

Fornleifum og búsetulandslagi á Íslandi er tryggt tvenns konar vernd samkvæmt Þjóðminjalögum nr. 107/2001. Annars vegar nær almenn vernd, svokölluð friðun, yfir allar fornleifar og búsetulandslag 100 ára og eldra (9.gr.). Hins vegar hafa valdar minjar, sem stefnt er að því að varðveita óskertar til framtíðar verið settar í sérstakan flokk friðlýstra fornleifa (11.gr.). Forstöðumaður Fornleifaverndar ríkisins friðlýsir fornleifar samkvæmt nágildandi Þjóðminjalögum en ekki ráðherra eða þing, eins og í tilfalli hús- og náttúruverndar. Kringum friðlýstar fornleifar og búsetulandslag fylgir 20 til 100 m. friðhelgt svæði. Birta verður auglýsingu

⁷⁴ Rögnvaldur Guðmundsson, 2010. *Erlendir ferðamenn á Íslandi sumarið 2010 og samanburður við sumrin á undan.*

Rannsóknir og ráðgjöf ferðaþjónustunnar ehf. Unnið fyrir Ferðamálastofu, nóvember 2010, 28 bls.

⁷⁵ Dallen, J. Timothy og Boyd Stephen W., 2003. *Heritage tourism.* Edinborg: Pearson Education Limited. Bls. 2,10,11,62.

⁷⁶ <http://conventions.coe.int/Treaty/en/Treaties/Html/176.htm>

um friðlýsingu fornleifa í Stjórnartíðindum og skulu staðurinn og ytri mörk hans tilgreind svo nákvæmtlega sem unnt er.

Í 9. gr. laga nr. 107/2001 er fjallað nánar um hvað telst til fornleifa.

Samkvæmt 10. gr. laga nr. 107/2001 má enginn, hvorki landeigandi, ábúandi né nokkur annar, spilla, granda né breyta fornleifum, hvorki friðuðum né friðlýstum. Það má ekki hylja þær, laga né aflaga né úr stað flytja nema með leyfi Fornleifaverndar ríkisins.

Á þeim svæðum sem fjallað er um í 1. og 2. áfanga rammaáætlunar eru hundruð friðaðra fornleifa, en einnig fjöldi friðlýstra fornleifa.

Meðal friðlýstu fornleifanna eru merkilegar minjar á svæði Jökulsánnna í Skagafirði norðan Hofsjökuls. Í Austur- og Vesturdal hafa varðveist minjaheildir, byggingar og búsetulandslag frá 900-1400, sem er einstakt, jafnvel á heimsvísu.

Í Eldvörpum á Reykjanesi eru einstakar friðlýstar minjar eftir útilegumenn sem mikilvægt er að varðveita til framtíðar.

Við Krýsuvík er einnig að finna friðlýst minjasvæði. Þau eru forn garður sem talinn er vera túngarðsleifar býlisins Kaldrana sem nefndur er í þjóðsögum og minjar býlisins Geststaða sem talið er vera elsta býli í landi Krýsuvíkur.

Í Kröflu og Bjarnarflagi eru merkar minjar um jarðböð og brennisteinsnám. Þrátt fyrir að þær séu ekki friðlýstar hafa þær mikið varðveislugildi fyrir íslenska menningu.

Á Hengilsvæðinu eru tveir friðlýstir minjastaðir, annars vegar Þorlákshafnarsel og hins vegar Hellurnar (ásamt Hellukofanum) sem er talin vera ein elsta leiðin yfir Hellsheiðina.

Á Skjálfandafjótssvæðinu eru fimm friðlýstir minjastaðir: Þingey, Skuldapíngey, Hrauntunga, Hofgarður og nafnlaust býli við Fiskiá.

Við Djúpa eru tveir friðlýstir minjastaðir: Lundur og Rofhóll.

Á öllu svæðinu við Skaftá eru 12 friðlýstir minjastaðir. Á megin framkvæmdasvæðinu eru 4 friðlýstir minjastaðir.

Við Hólmsá eru þrír friðlýstir minjastaðir. Minjar við Hestatorfu (Hrífunes), minjar á Langarofi (Hrífunes) og þingstaður (búðir) við Leiðvelli.

Við Markarfljót eru tveir friðlýstir minjastaðir, sem eru að blása upp: Bústaður við Einhyrning og Kápa í Almenningi (sunnan Markarfljóts). Líklega eru báðir staðirnir frá 10.-11. öld.

Við Jökulsá á Fjöllum er einn friðlýstur minjastaður en það eru útilegumannaminjarnar við Hvannalindir.

Við Hvítá er eitt friðlýst býli sem talið er hafa farið í eyði á 11. öld.

Við Þjórsá er fjöldi friðlýstra minjastaða. Meðal þeirra eru forn garður í landi Urriðafoss; dómhringur í Árnesi; þingbúðatóftir í landi Hof; forn garðlög við Núp; forn rúst og garðlög í Ölmóðsey og rúst Eyvindarkofa í Eyvindarveri.

Það er nauðsynlegt að tekið verði tillit til þessarra staða í allri ákvarðanatöku varðandi virkjun fallvatna- og jarðvarmavirkjanir og áhrifasvæði virkjananna.

9.3.2 Náttúruvernd sem landnýting

Eftirfarandi ábending er frá Friðriki Degi Arnarsyni, landfræðingi og framhaldsskólakennara, sem tilnefndur var í verkefnisstjórn af frjálsum félagasamtökum.

Í ljósi þess að 2. áfanga rammaáætlunar er ætlað víðara verkefni en var í 1. áfanganum, með því að tilgreina sérstaklega vernd náttúrusvæða sem viðfangsefni, verður að taka fram að ekki var brugðist við þessu nýja verkefni með stofnun faghóps sem sérstaklega fjallaði um náttúruvernd sem landnýtingu. Eftir á að hyggja hefði þess þurft til að tryggja betur þetta nýja verkefni og auka þar með líkur á meiri sátt um niðurstöðu verksins meðal allra þeirra aðila sem geta nýtt þau gæði svæðanna sem áætlunin tekur til.

Verndun náttúru og umhverfis sem slík er stórtækur landnotandi og vaxandi áhersla hefur verið lögð á hana sem eina af forsendum nútímasamfélaga. Að sjálfsögðu kom náttúruvernd oft til umræðu, ekki síst hjá faghópum I og II. Faghópur I fjallaði um náttúrufar á svæðum þar sem fræðilegar aðstæður eru til virkjunar vatnsafls eða jarðhita en náttúrufarið er oftast forsenda þess að ákveðið er að veita svæði einhverja tegund af friðun. Þar var dregið fram vísindalegt gildi svæðanna og mikilvægi þess að vernda ýmislegt sem þar er. Hið sama gildir einnig um landslag sem faghópurinn vann með. Faghópur II ræddi um náttúruvernd út frá hagsmunum útivistar og ferðaðþjónust enda er náttúra og landslag friðlýstra svæða oft mjög fjölbreytt eða þau búa yfir einhverju öðru slíku að þangað fýsir fólk að koma. Hvorugur þessara faghópa fjallaði sérstaklega um náttúruverndina sem slíka, heldur hvernig hún tengdist viðfangsefnum hópanna. Nauðsynlegt er að hafa í huga að vernd umhverfis fer ekki alltaf saman við óskir ferðaðþjónustu og útivistar, sbr. deilur um verndun eða nýtingu lands í Vatnajökulsþjóðgarði og lokun Surtseyjar fyrir almennri umferð. Þá eru forsendur friðunar svæða ekki alltaf byggðar á náttúrufarslegum aðstæðum, heldur koma þar einnig til þættir eins og saga, tilfinningar, ímynd og hugsjónir, þættir sem aðrar vísindagreinar en raunvísindi fjalla um. Þá hefur það líka sitt að segja hvort svæði eru í byggð og þeim tengist því atvinnu- og búsetusaga. Reykjavíkurtjórn er ágætt dæmi til að útskýra hvað hér er átt við, en vegna tilfinninga fólks og ímyndar Tjarnarinnar sýnir sagan að íbúar höfðuborgarinnar vilja að hún njóti verndar þó náttúrufar hennar sé ekki einstætt, nema í samhengi við það svæði sem hún er staðsett í.

Þar sem ekki var skipaður faghópur sem nálgadist náttúruvernd og landnýtingu út frá forsendum verndarinnar sjálfrar, og fleiri vísindahefðum var ekki með formlegum hætti unnið með náttúruverndina sem slíka. Þá voru heldur ekki gerðar sérstakar kröfur á forsendum hennar til svæða, eins og gert var bæði vegna virkjana og ferðamennsku. Þetta leiddi því til umræðna innan verkefnisstjórnarinnar t.d. um það hvort svæði sem þegar njóta friðunar af einhverju tagi ættu að vera til umfjöllunar sem möguleg virkjunarsvæði eða ekki. Þá umræðu hefði þurft að undirbyggja í sérstökum faghópi, sem hefði um leið gætt þess að vinnan í rammaáætlun hefði uppfyllt skilyrði sjálfbærrar þróunar.

9.3.3 Samfélagið og hugmyndafræði sjálfbærrar þróunar

Eftirfarandi texti er frá Björgu Evu Erlendsdóttur, framkvæmdastjóra Vinstri grænna flokka á Norðurlöndum, tilnefnd í verkefnisstjórn af landbúnaðarráðherra.

Í skipunarbréfi verkefnisstjórnar 2. áfanga rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma er vísað til vilja stjórnvalda að skapa sátt um vernd og nýtingu náttúrusvæða, með rannsóknum og flokkun þar sem tekið sé tillit til bæði verndar og orkunýtingar. Sátt sem hlýtur að byggja á hugmyndafræði sjálfbærrar þróunar sem er hvarvetna viðurkennd í dag, til að tryggja megi hagsmuni komandi kynslóða. Slík sátt er óhugsandi nema unnið sé samkvæmt meginreglum umhverfisréttar að sjálfbærri þróun samfélagsins. Þá þarf að taka mið af því að sjálfbær þróun byggir á þremur meginstöðum; heilbrigðu umhverfi, samfélagi og efnahag. Enginn stoð má verða útundan.

Sjálfbærni er leiðarljós í vernd og nýtingu náttúruauðlinda. Áherslan á allar grunnstoðir hennar ætti að móta niðurstöður og lokaskýrslu rammaáætlunar. Viðurkennt er að verulega skortir á rannsóknir á mikilvægum samfélagsþáttum sem þá hljóta að verða teknir fyrir í næsta áfanga.

Samfélagsáhrif virkjunarframkvæmda hafa verið metin út frá þjóðhagslegum áhrifum og því hversu atvinnuskapandi þau eru en annað látið liggja, svo sem félagsleg áhrif, heildaráhrif á atvinnugreinar utan orkugeirans, áhrif á menntun, heilsu, nærsamfélag, samstöðu/klofning, menningu, tilfinningar, landslag o.s.frv.

Skortur á rannsóknum á samfélagslegum áhrifum var staðfestur í samantekt athugasemda almennings eftir að faghópar höfðu kynnt niðurstöður sínar fyrir rúmu ári. Margar athugasemdanna sneru beint að samfélagsáhrifunum en voru ekki gagnrýni á vinnu faghópa sem lokið höfðu verki sínu. Segja má að helsta gagnrýnin hafi verið á faghópinn sem aldrei var stofnaður og vantaði því í starfið. Hópin sem metur manninn og sjálft samfélagið þegar virkjað er.

Í athugasemdunum voru ýmis gagnrýnisatriði, m.a. að „ekki skuli tekið tillit til mannlegra þátta, jafnvel þar sem til stendur að gjörbreyta nánasta umhverfi fólks.“ Gerðar voru athugasemdir við að vinnan væri „á forsendum orkunýtingar“, og það þyrfti „að setja Rammaáætlun í félagslegt og menningarlegt samhengi.“. Höfundar athugasemda voru sumir af þeim svæðum þar sem deilur standa núna, eða þekkja vel til deilna sem lengi hafa staðið um virkjunaráform.

Verkefnisstjórn rammaáætlunar stendur frammi fyrir skilum á endanlegum niðurstöðum verks sem er ekki lokið á forsendum hugmyndafræði sjálfbærrar þróunar. Úr því verður að bæta í næsta áfanga. Þá þarf að skipa sérstakan faghóp með skilgreint hlutverk þar sem samfélagið og mannlegi þátturinn, þriðja stoð sjálfbærnihugtaksins, er viðfangsefnið.

Stunda þarf rannsóknir á því grundvallaratriði sem samfélagslegi þátturinn er. Starfið heldur óhjákvæmilega áfram og samfélagsleg áhrif virkjana hljóta þá verða metin, nákvæmar og faglegar og út frá fleiri þáttum en nú. Fimmti faghópurinn ætti að vera skipaður sérfræðingum í samfélagsfræðum, heimspeki, menningargreinum og heilbrigðisvísindum. Óháðir einstaklingar hafa unnið mikið starf við rannsóknir á samfélagslegum áhrifum og nýlega hafa verið skrifaðar tvær doktorsritgerðir um efnið. Rannsóknir innan Háskóla Íslands á þessu sviði hafa stórauðist á undanförunum misserum.

Nefna má fræðin sem á dönsku heita “Nye Kulturstudier” og meta samfélag, menningu, náttúruvernd, framtíð og verðmæti út frá mörgum og fjölbreyttari þáttum en áður hafa verið viðurkenndir. Þar er merkileg skilgreining á verndargildi danskrar náttúru, sem er talið verulegt. Þar er gildi náttúrunnar metið út frá flestu öðru en því hvort hún sé ósnortin, enda er dönsk náttúra öll manngerð. Í þessum fræðum speglast náttúru- og umhverfisvernd í framtíðarhorfum, menningu og þörfum samfélagsins til mjög langs tíma. Þetta er einmitt það sem rammaáætlun verður að gera. Ný menningarfræði er fyrsta bók⁷⁷ á Norðurlöndum þar sem hið nýja og breiða menningar- og rannsóknarhugtak er útskýrt og er óhætt að segja að grunnhugsun sjálfbærni komi þar við sögu. Faghópur III vildi þróa aðferð sem hægt væri að nota til að meta samfélagsleg og þjóðhagsleg áhrif virkjana og afraksturinn segir hópurinn vera líkan til að áætla umfang samfélagslegra áhrifa einnar virkjunar í samanburði við aðra, en sú mynd sé þó ekki nákvæm. Stuðst var við rannsóknir Hagfræðistofnunar HÍ á efnahagslegum áhrifum stóriðju á Íslandi sem og rannsóknir við HA á samfélagslegum áhrifum stóriðjuframkvæmda á Austurlandi. Takmarkaðri upplýsingar segist hópurinn hafa um langtímaáhrif virkjana í sínu nánasta umhverfi. Og þar kemur að kjarna málsins sem faghópur III lýsir sjálfur:

„... Þörf er á samanburðarrannsóknum þar sem reynt yrði að meta ýmis staðbundin og óáþreifanleg samfélagsáhrif virkjana. Fjölmörg dæmi eru um að virkjanir hafi skilið eftir djúp spor í samfélagið í sínu nánasta umhverfi þar sem jafnvel hefur ekki gróið um heilt milli manna eftir deilur. Vera kann að slíkt sé óhjákvæmilegur fylgifiskur allra slíkra framkvæmda og komi fram sama hvar virkjað er og hver svo sem tilhögun mannvirkja er. Betri þekking á þessum þætti orkunýtingar væri bæði mikilvægt framlag til frekari vinnu við rammaáætlun og kæmi ennfremur mjög til góða þeim samfélögum sem í framtíðinni þurfa að takast á við spurningar um hvort og hvernig eigi að nýta þá orku sem er til staðar í þeirra heimabyggð. ...“

Faghópur um samfélagsleg áhrif þarf því í næsta áfanga að skila röðun virkjanahugmynda á forsendum samfélagsins. Vart þarf að taka fram að núverandi röðun og flokkun er ekki höggvin í stein og hlýtur að taka mið af niðurstöðum og breytast ef þörf krefur. Mikilvægt er að umdeildar virkjunarhugmyndir þar sem augljóslega skortir samfélagsrannsóknir lendi í biðflokki. Bent skal á að miðað við stöðu dagsins á fjármálamörkuðum tefur slík bið ekki framkvæmdir sem þegar eru áætlaðar. Ekkert tapast en í staðinn verður mikill samfélagslegur ágóði.

Að fengnum niðurstöðum um vægi samfélagslegra þátta ætti að mega nýta orkulindir þjóðarinnar nær þeirri sátt sem rammaáætlun var ætlað að skapa. Þótt aldrei verði settar niður allar deilur um virkjanir hlýtur að vera mikilvægt fyrir verkefnisstjórn rammaáætlunar að vita til þess að einskis verði látið ófreistað í næsta áfanga að fara í þær rannsóknir sem skortir og áður en ráðist er í samfélagslega umdeildar virkjanir.

Umhverfisstefna orkuframleiðenda er ekki trúverðug nema skýrar reglur liggi til grundvallar og orkugeirinn ráði þeim ekki einsamall. Þarna getur rammaáætlun ekki vikist undan. Á norsku er talað um „Bukken og havresekken“, (geithafurinn sem gætir hafranna) og kann ekki góðri lukku að stýra. Því hefur verið haldið fram og með réttu að rammaáætlun sé unnin á forsendum orkugeirans sjálfs. Þar gætir geitin hafranna, með alþekktum afleiðingum. En með því að leggja

⁷⁷ Sørensen, Anne Scott, Ole Martin Høystad, Erling Bjurström, Halvard Vike, 2010. *Nye kulturstudier: teorier og temaer*. København, Tiderne skifter, 2010, 415 bls.

inn í áætlunina þær samfélagsrannsóknir sem þarf verður komið í veg fyrir þær.

9.3.4 Áhrif verndar- og orkunýtingaráætlunar á skipulagsvald sveitarfélaga

Eftirfarandi ábendingar eru frá Elínu R. Lindal, stjórnarmanni og fulltrúa Sambands íslenskra sveitarfélaga í verkefnisstjórn.

Fulltrúi Sambands íslenskra sveitarfélaga bendir á að þrátt fyrir andmæli sveitarfélaga ákvað Alþingi að heimila mjög alvarlegt inngrip í skipulagsvald sveitarfélaga með lögum um verndar- og nýtingaráætlun vegna virkjunar fallvatna og háhitasvæða. Sveitarfélögum verður því skylt að gera ráð fyrir virkjunarhugmyndum í nýtingarflokki í sínum skipulagsáætlunum. Jafnframt verður skylt að hefja vinnu við friðlýsingu og skal henni ljúka innan tíu ára. Af hálfu sveitarfélaga er lögð á það áhersla að þessar kröfur verði ekki of íþyngjandi fyrir sveitarstjórnir. Því er afar mikilvægt að traust gögn liggi til grundvallar flokkun virkjunarhugmynda í verndar- og orkunýtingaráætlun, m.a. um umfang og staðsetningu fyrirhugaðra framkvæmda, umhverfisáhrif og fyrirhugaðar mótvægisáðgerðir.

Áhersla er lögð á það af hálfu fulltrúa sambandsins að verkefnisstjórn afli álits frá Skipulagsstofnun um það hvaða gögn teljast nauðsynleg til að hægt sé að taka virkjunarhugmyndir í nýtingarflokki inn á aðalskipulag án athugasemda. Jafnframt er mikilvægt að fram komi í því áliti hvort kröfur stofnunarinnar um ítarlega útfærslu á virkjunarhugmynd og tengdum framkvæmdum, standi í vegi fyrir því að sveitarstjórnir geti ákveðið að gera ráð fyrir virkjunarhugmynd í biðflokki á aðalskipulagi. Í því sambandi leggur fulltrúi sambandsins áherslu á að ekki séu gerðar meiri kröfur varðandi útfærslu hugmynda um virkjanir heldur en gert er varðandi aðrar fyrirhugaðar framkvæmdir.

Að áliti fulltrúa sambandsins er ljóst að upplýsingar um mótvægisáðgerðir þurfa að liggja fyrir í verndar- og nýtingaráætlun til þess að sveitarfélög geti uppfyllt lagaskyldu sína varðandi mat á áhrifum skipulagsáætlana.

9.3.5 Almennt um rammaáætlun og lög nr. 48/2011 um verndar- og orkunýtingaráætlun

Eftirfarandi ábendingar eru frá Agnari Olsen, verkfræðingi, og fulltrúa Samorku í verkefnisstjórn.

Fulltrúi Samorku fagnar því að vinnu við 2. áfanga rammaáætlunar er lokið með röðun virkjunarhugmynda.

Nýlega samþykkti Alþingi lög nr. 48/2011 um verndar- og orkunýtingaráætlun en með þeim fær rammaáætlun lögformlega stöðu. Í 1. mgr. 3. gr. laganna segir: ”Iðnaðarráðherra leggur í samráði og samvinnu við umhverfisráðherra eigi sjaldnar en á fjögurra ára fresti fram á Alþingi tillögu til þingsályktunar um áætlun um vernd og orkunýtingu landsvæða.” Nú tekur því við vinna undir forustu iðnaðarráðuneytisins að gerð þingsályktunartillögu um flokkun virkjunarhugmynda í verndar-, orkunýtingar- og biðflokk, sem væntanlega verður lögð fyrir Alþingi haustið 2011.

Rétt er að hnykkja á nokkrum atriðum sem æskilegt er að skoða betur í framhaldinu og snerta orkugeirann sérstaklega:

- Af 84 virkjunarhugmyndum voru 66 teknar til umfjöllunar af öllum faghópum en þar af

eru 14 sem farið hafa í gegnum mat á umhverfisáhrifum samkvæmt gildandi lögum, 5 vatnsaflsvirkjanir og 9 jarðvarmavirkjanir.

- Samkvæmt 3. mgr. 3. gr. laganna taka þau ekki til landsvæða sem njóta friðlýsingar í samræmi við 50 gr. laga um náttúruvernd nema tiltekið sé í friðlýsingarskilmálum að virkjunarframkvæmdir séu heimilar á viðkomandi svæði. Ekki er alveg ljóst hvaða virkjunarhugmyndir, sem eru til umfjöllunar í 2. áfanga rammaáætlunar (landsvæði), falla undir þetta ákvæði en gera má ráð fyrir að það geti náð yfir um þriðjung þess háhita sem hugsanlegt væri að nýta til raforkuvinnslu.
- Röðun virkjunarhugmynda með AHP greiningu þarf að vera gagnsærri. AHP greining faghóps um náttúru og menningarminjar byggist á; 1) mati á áhrifum orkunýtingar, 2) verðmæti svæðis í náttúru og menningarminjum, 3) sérstöku mikilvægi og 4) óvissu og áhættu sem faghópurinn taldi framkvæmdinni samfara. Faghópur um útivist, ferðaþjónustu og hlunnindi beitir sömu aðferð. Það er einkum vægi tveggja síðastnefndu þáttanna sem þarf að skoða.
- Þegar meta á áhrif virkjunarhugmynda á ferðaþjónustu, útivist, landbúnað og hlunnindi er nauðsynlegt að horfa til reynslu af núverandi virkjunum. Fjölsóttasti ferðamannastaður landsins er t.d. tengdur virkjun og á annað hundrað þúsund manns heimsækir virkjanir árlega.
- Þar sem mótvægisáðgerðum er lýst fyrir einstaka virkjunarhugmyndir á að taka þær með í mati á áhrifum virkjunar. Slíkar áðgerðir eru veigamikill hluti undirbúnings og mats á umhverfisáhrifum. Þær eru einnig snar þáttur í rannsóknum, byggingu og rekstri virkjana og gerðar í samráði og samvinnu virkjunaraðila, sveitarfélaga og landeigenda, eins og dæmin sanna.
- Loks vekur það athygli að faghópar sem fjalla um náttúru og menningarminjar og útivist, ferðaþjónustu og hlunnindi flokka tvö stór en lítt röskuð svæði sem tvo orkukosti, en áður höfðu þau verið skilgreind sem annars vegar 4 og hins vegar 7 orkukostir. Á sama tíma eru orkukostir m.a. í nágrenni við virkjanir áfram flokkaðir sérstaklega. Fulltrúi Samorku hefur frá upphafi gert athugasemdir við þessa nálgun.

10 Heimildir

- Andri Stefánsson, Þráinn Friðriksson, Sigurður H. Markússon og Júlía K. Björke, 2010. *Jarðhitavatn, ummyndun og útfellingar á yfirborði háhitasvæða á Íslandi*. Unnið fyrir Orkustofnun. Reykjavík: Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands og Íslenskar orkurannsóknir. RH-01-2010, ÍSOR-2010/006.
- Angcoy, E. C., 2010. *Geochemical modelling of the high-temperature Mahanagdong geothermal field*. Mastersritgerð, Háskóli Íslands.
- Anna Dóra Sæþórsdóttir, 2006. Skipulag náttúruferðamennsku með hliðsjón af viðhorfum ferðamanna. *Landabréfið* 22 (1), 3-20.
- Anna Dóra Sæþórsdóttir, 2009. *Kafað ofan í kjölinn – á viðhorfum ferðamanna á Kili*. Reykjavík: Land- og ferðamálafræðistofa Háskóla Íslands.
- Arnþór Garðarsson, 1979. Vistfræðileg flokkun íslenskra vatna. *Týli* 9, 1-10.
- Ágúst Guðmundsson, 1987. Formation and mechanics of magma reservoirs in Iceland. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 91, 27-41.
- Ásrún Elmarsdóttir, Erling Ólafsson, Guðmundur Guðjónsson, Hörður Kristinsson, Kristinn Haukur Skarphéðinsson, Olga Kolbrún Vilmundardóttir og Rannveig Thoroddsen, 2009. *Gróður, fuglar og smádyr á 18 háhitasvæðum. Samantekt fyrirbyggjandi gagna*. Unnið fyrir Orkustofnun. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands. NÍ-09015.
- Ásrún Elmarsdóttir og Olga Kolbrún Vilmundardóttir, 2009. *Flokkun gróðurs og landgerða á háhitasvæðum Íslands*. Unnið fyrir Orkustofnun. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands. NÍ-09013.
- Barth, T. F. W., 1950. *Volcanic geology, hot springs and geysers of Iceland*. Carnegie Institution of Washington, rit 587.
- Bixley, P. F., 1986. Cooling of the Wairakei reservoir during production. Í ráðstefnuriti *Eleventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, Kalifornía, SGP-TR-93.
- Björn Þ. Guðmundsson og Stefán Arnórsson, 2002. Geochemical monitoring of the Krafla and Námafjall areas, N-Iceland. *Geothermics*, 31, 195-243.
- Borgþór Magnússon, Guðmundur Guðjónsson, Guðmundur A. Guðmundsson, Kristbjörn Egilsson, Kristinn Haukur Skarphéðinsson, Sigurður H. Magnússon og Starri Heiðmarsson, 2009. *Vistgerðir á miðhálandi Íslands, Skjálfafljóti*. Unnið fyrir Orkustofnun vegna Rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-09009.
- Boyd, S. W. og Butler, W., 1996. Managing Ecotourism: An Opportunity Spectrum Approach. *Tourism Management* 17, 557-566.
- Byggðarannsóknastofnun og Hagfræðistofnun, 2003. *Fólk og fyrirtæki. Um búsetu- og starfsskilyrði á landsbyggðinni*. Akureyri og Reykjavík: Höfundar.
- Byggðastofnun og Hagfræðistofnun, 2008. *Hagvöxtur landshluta 2000-2006*. Sauðárkróki og Reykjavík: Höfundar.
- Cole, D. N. og Hall, T. E., 2008. *Wilderness Visitors, Experiences, and Management Preferences: How They Vary With Use Level and Length of Stay*. Research Paper RMRS-RP-71.
- Crouch, G. I. og Ritchie, J. R. B., 1999. Tourism, Competitiveness, and Societal Prosperity. *Journal of Business Research*, 44 (3), 137-152.
- Dallen, J. Timothy og Boyd Stephen W., 2003. *Heritage tourism*. Edinborg: Pearson Education Limited.
- Davis, J. H. og Davis, R. D., 2010. Earth's surface heat flux. *Solid Earth*, 1, 5-24.
- Dunstall, M., 1999. Small power plants. Recent developments in geothermal power generation in New Zealand. *Geo Heat Center Bulletin*, desember 1999, 5-12.
- European Union, 2009. *Official Journal of the European Union*, 1, 140-16-62.
- Ferðamálastofa, 2010. *Ferðaþjónustan á Íslandi í tölum*. Reykjavík: Ferðamálastofa.
- Ferrario, F. F., 1979. The Evaluation of Tourist Resources: an Applied Methodology. *Journal of Travel Research*, 17 (3), 18-22.

Fornleifavernd ríkisins, 2008.

Askja og Sigurðarskarð. Úttekt á fornleifum. Inga Sóley Kristjónudóttir 2008:6

Brennisteinsfjöll. Fornleifaskráning. Agnes Stefánsdóttir 2008:4

Fremrinámar. Fornleifaskráning. Inga Sóley Kristjónudóttir 2008:10

Geysir. Fornleifaskráning. Magnús A. Sigurðsson 2008:2.

Gjástykki. Úttekt á fornleifum. Sigurður Bergsteinsson 2008:15

Hengill og umhverfi. Fornleifaskráning. Kristinn Magnússon 2008:9

Hrúthálsar. Úttekt á fornleifum. Inga Sóley Kristjónudóttir 2008:14

Hveravellir og Kerlingarfjöll. Fornleifaskráning. Þór Hjaltalín 2008:5

Krafla – Námafjall. Fornleifaskráning. Inga Sóley Kristjónudóttir 2008:12

Krýsuvík – Trölladyngja. Fornleifaskráning. Agnes Stefánsdóttir 2008:16

Kverkfjöll. Úttekt á fornleifum. Inga Sóley Kristjónudóttir 2008:8

Svartsengi – Eldvörp. Fornleifaskráning. Agnes Stefánsdóttir 2008:7

Torfajökull og umhverfi. Fornleifaskráning. Magnús A. Sigurðsson, Sólborg Una Pálsdóttir 2008:1

Umhverfi Reykjanesvirkjunar. Fornleifaskráning. Agnes Stefánsdóttir 2008:3

Vonarskarð og Hágöngur. Úttekt á fornleifum. Sólborg Una Pálsdóttir 2008:11

Þeistareykir Fornleifaskráning. Sigurður Bergsteinsson 2008:13

Fredman, P., Friberg, L.H. og Emmelin, L., 2007. Increased visitation from national park designation. *Current Issues in Tourism*, 10 (1), 87–95.

Frost, W. og Hall, C.M. (Ritstj.), 2009. *Tourism and national parks: International perspectives on development, histories and change*. London: Routledge.

Giroud, N. G., 2008. *A chemical study of arsenic, boron and gases in high-temperature fluids in Iceland*. Doktorsritgerð, Háskóli Íslands.

Gísli Már Gíslason, Hákon Aðalsteinsson and Jón S. Ólafsson, 1999. Studies on arctic and alpine streams in Europe with special emphasis on glacial rivers in Iceland. *Proceedings of Northern Research Basins. Twelfth International Symposium and Workshop*. Iceland University Press, Reykjavík, 83-92.

Gísli Már Gíslason, Hákon Aðalsteinsson, Jón S. Ólafsson og Iris Hansen, 2000. Invertebrate communities of glacial and alpine rivers in the central highland of Iceland. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 27, 1602-1606.

Glover, R. B. og Bacon, L., 2000. Chemical changes in natural features and well discharges at Wairakei, New Zealand. Í ráðstefnurni *World Geothermal Congress 2000, Kyushu – Tohoku, Japan, May 28 – June 10, 2000*, 2081-2086.

Glover, R. B og Mroczek, E. K., 2009. Chemical changes in natural features and well discharges in response to production at Wairakei, New Zealand. *Geothermics*, 38, 117-133.

Goff, F. og Janik, C. J., 2000. Geothermal systems. Í: Haraldur Sigurðsson (ritstj.), *Encyclopedia of Volcanoes*, Pergamon Press, New York, 817-834.

Guðmundur Pálmason, 1973. *Crustal structure of Iceland from explosion seismology*. Societas Scientiarum Islandica, XL.

Guðmundur Pálmason, 2005. *Jarðhitabók – eðli og nýting auðlindar*. Reykjavík, Hið íslenska bókmenntafélag.

Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur Ingi Haraldsson og Gísli Karel Halldórsson, 1985. *Mat á jarðvarma Íslands*. Orkustofnun, skýrsla OS-85076/JHD-10.

- Gunnar Böðvarsson, 1961. Physical characteristics of natural heat resources in Iceland. *Jökull*, 11, 29-38.
- Gunnar Böðvarsson, 1982. Terrestrial energy currents and transfer in Iceland. Í: Guðmundur Pálmason (ritstj.), *Continental and oceanic rifts. Geodynamic Series*, 8, *Am. Geophys. Union*, 271-282.
- Hagfræðistofnun, 2009. *Áhrif stóriðjuframkvæmda á íslenskt efnahagslíf*. Reykjavík: Iðnaðarráðuneytið.
- Hagstofa Íslands, 2008. *Hagtiðindi - Ferðamál og samgöngur. Ferðaþjónustureikningar 2000 – 2006*. Reykjavík: Höfundar.
- Halldór Ármannsson, Ásgrímur Guðmundsson og Benedikt S. Steingrímsson, 1987. Exploration and development of the Krafla geothermal area. *Jökull*, 37, 13-30.
- Helga Ögmundardóttir, 2011. *The Shepherds of Þjórsárver: Traditional Use and Hydropower Developmeny in the Commons of the Icelandic Highland*. Doktorsritgerð, Uppsala Universitet.
- Helgi Björnsson, Sveinbjörn Björnsson og Þorbjörn Sigurgeirsson, 1982. Penetration of water into hot rock boundaries of magma at Grímsvötn. *Nature*, 295, 580-581.
- Hilmar J. Malmquist, 1998. Ár og vötn á Íslandi: Vistfræði og votlendistengsl. Í Jón S. Ólafsson (Ritsstj.), *Íslensk votlendi – verndun og nýting*. Reykjavík: Háskólaútgáfan.
- Hilmar J. Malmquist, Jón S. Ólafsson, Guðni Guðbergsson, Þórólfur Antonsson, Skúli Skúlason og Sigurður S. Snorrason, 2003. *Vistfræði- og verndarflokkun íslenskra stöðuvatna*. Verkefni unnið fyrir Rammaáætlun um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Áfangaskýrsla. Náttúrufræðistofa Kópavogs. Fjölrit nr. 1-03.
- Hjalti Franzson, 1995. Geological aspects of the Svartsengi high-temperature field, Reykjanes Peninsula, Iceland. Í: Kharaka, Y. og Chudaev, O. (ritstj.), *Water-Rock Interaction*, Balkema, Rotterdam, 498-500.
- Hjalti Franzson, 1998. Reservoir geology of the Nesjavellir high-temperature field, SW-Iceland. Í ráðstefnurni *19th Annual PNOC-EDC Geothermal Conference*, Manila, Philippines, 13-20.
- Hjalti Franzson, 2000. Hydrothermal evolution of the Nesjavellir high-temperature system, Iceland, *World Geothermal Congress 2000, Kyushu – Tohoku, Japan, May 28 – June 10, 2000*, 2075-2080.
- Hjalti Franzson, 2004. *Reykjanes high-temperature geothermal system. Geological and geothermal model*. Skýrsla Íslenskra orkurannsóknna ISOR-2004/012.
- Hjalti Franzson, Guðmundur Ó. Friðleifsson, Ásgrímur Guðmundsson og Elsa Vilmundardóttir, 1997. *Forðafræðistuðlar. Staða bergfræðirannsóknna í lok 1997*. Skýrsla Orkustofnunar OS-97077.
- Hjalti Franzson, Guðmundur H. Guðfinnsson og Margrét H. Helgadóttir, 2010. Porosity, density and chemical composition relationships in altered Icelandic hyaloclastites. Í: Birkie og Torres-Alvarado (ritstj.) *Water-Rock Interaction*, Taylor & Francis Group, London, 199-202.
- Hjalti Franzson, Zierenberg, R. og Schiffman, P., 2008. Chemical transport in geothermal systems in Iceland. Evidence from hydrothermal alteration. *J. Volc. Geothermal Res.*, 173, 217-229.
- Hjalti Jóhannesson, Auður Magnús Leiknisdóttir, Enok Jóhannesson, Jón Þorvaldur Heiðarsson, Kjartan Ólafsson, Tryggvi Hallgrímsson og Valtýr Sigurbjarnarson, 2008. *Rannsókn á samfélagsáhrifum álvers- og virkjunarframkvæmda á Austurlandi. Áfangaskýrsla II - stöðulýsing í árslok 2007*. Akureyri: Byggðarannsóknastofnun.
- Hofmeister A. M. og Criss, R. E., 2005. Earth's heat flux revised and linked to chemistry. *Tectonophysics*, 395, 159-177.
- IAEA (International Atomic Energy Agency), 2005. *Use of isotope techniques to trace the origin of acidic fluids in geothermal systems*. IAEA Report IAEA-TECDOC-1448.
- IAEA (International Atomic Energy Agency), 2010.
- Iðnaðarráðuneytið, 2006. *Framtíðarsýn um verndun og nýtingu auðlinda í jörðu og vatnsafls*. Reykjavík: Auðlindanefnd iðnaðarráðuneytisins.
- Ingvar Birgir Friðleifsson, 1979. Geothermal activity in Iceland. *Jökull*, 29, 47-56.
- Jens Tómasson og Gísli Karel Halldórsson, 1981. The cooling of the Selfoss geothermal area, SW Iceland. *Transactions of the Geothermal Resources Council*, 5, 209-212.
- Jón Örn Bjarnason og Magnús Ólafsson, 2000. *Í Torfajökli: Efni í jarðgufu og vatni*. Skýrsla Orkustofnunar OS-2000/030.
- Jóna Finndis Jónsdóttir og Bergur Einarsson, 2006. *Nýtt mat á afrennsli Íslands, frumniðurstöður*. Reykjavík: Orkustofnun, Vatnamælingar. Greinargerð JFJ-BEE-2006/01.

- Jónas Ketilsson, Héðinn Björnsson, Sæunn Halldórsdóttir og Guðni Axelsson, 2009. *Mat á vinnslugetu háhitavæða*. Reykjavík: Orkustofnun, skýrsla nr. OS-2009/09.
- Jónas Ketilsson, Axel Björnsson, Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, Bjarni Pálsson, Grímur Björnsson, Guðni Axelsson og Kristján Sæmundsson, 2011. *Eðli jarðhitans og sjálfbær nýting hans. Álitsgerð faghóps um sjálfbæra nýtingu jarðhita*. Reykjavík: Orkustofnun, skýrsla nr. OS-2010/05.
- Kristján Jónasson og Sigmundur Einarsson, 2009. *Jarðminjar á háhitavæðum Íslands. Jarðfræði, landmótun og yfirborðsummerki jarðhita*. Unnið fyrir Orkustofnun vegna 2. áfanga Rammaáætlunar. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ – 09012.
- Kristján Sæmundsson, 1991. Jarðfræði Kröflukerfisins. Í: Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson (ritstj.) *Náttúra Mývatns*, Hið íslenska náttúrufræðifélag, 25-95.
- Leiper, N., 1990. *Tourism systems : an interdisciplinary perspective*. Palmerston North, NZ: Massey University.
- Mannington, W. I., O'Sullivan, M. J. O., Bullivant, D. P. og Clotworthy, A. W., 2004. *Twenty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, Kaliforníu, 26-28. janúar, 2004, STP-TR-175.
- McCool, S. F., Clark, R. N. og Stankey, G. H., 2007. *An assessment of framework useful for public land recreation planning*. Gen. Tech Rep. PNW-GTR-705. Portland.
- Mill, R. og Morrison, A., 1998. *The Tourism System*: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Mineral Commodity Summaries 2010*, 2010. U. S. Department of the Interior, U.S. Geol. Survey (minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2010/mcs2010.pdf).
- Ólafur Arnalds, L. P. Wilding og C. T. Hallmark, 1992. Drög að flokkun rofmynda á Íslandi. Í *Græðum Ísland: árbók Landgræðslunnar IV*, 55-72.
- Ólafur Arnalds, Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Sigmar Metúsalemsson, Ásgeir Jónsson, Einar Grétarsson og Arnór Árnason, 1997. *Jarðvegsrof á Íslandi*. Reykjavík: Landgræðsla ríkisins og Rannsóknastofnun landbúnaðarins.
- Ólafur Jónsson, 1945. *Ódádahraun*. Bókaútgáfan Norðri hf.
- Ómar Sigurðsson, Ásgrímur Guðmundsson, Guðmundur Ó. Friðleifsson, Hjalti Franzson, Steinar Þ. Guðlaugsson og Valgarður Stefánsson, 2000. Database on igneous rock properties in Icelandic geothermal systems, status and unexpected results. Í ráðstefnurit *World Geothermal Congress 2000, Kyushu – Tohoku, Japan, May 28 – June 10, 2000*, 2881-2886.
- Pollack, H. N., Huerte, S. J. og Johnson, J. R., 1993. Heat-flow from the Earth's interior – Analysis of the global data set. *Rev. Geophys.*, 31, 267-280.
- Pope, E. C., Bird, D. K., Stefán Arnórsson, Þráinn Friðriksson, Elders, W. og Guðmundur Ó. Friðleifsson, 2009. Isotopic constraints on ice age fluids in active geothermal systems: Reykjanes, Iceland. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 73, 4468-4488.
- Priskin, J., 2001. Assessment of natural resources for nature-based tourism : the case of the Central Coast Region of Western Australia. *Tourism Management*, 22, 637-648.
- Rammaáætlun, 2001. Minnisblað faghóps III í 1. áfanga eftir fund 3. desember 2001.
- Rammaáætlun, 2002. Minnisblað faghóps III í 1. áfanga. *Tilraunamat á 10 virkjunarkostum*. Greinargerð faghóps III.
- Rammaáætlun, 2003a. *Niðurstöður 1. áfanga rammaáætlunar*. Verkefnisstjórn um gerð rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Reykjavík: Iðnaðarráðuneytið.
- Rammaáætlun, 2003b. *Viðauki b5*. (Faghópur III, aðferðafræði og niðurstæða mats) með skýrslu um niðurstöður 1. áfanga rammaáætlunar.
- Rammaáætlun, 2007. *Undirbúningur að 2. áfanga rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma*. Framvinduskýrsla.
- Rammaáætlun, 2010. *Niðurstöður faghópa. Kynningar- og umsagnarferli verkefnisstjórnar 2. áfanga*.
- Regína Hreinsdóttir og Guðmundur Guðjónsson, 2008. *Gróðurkort af virkjunarsvæði fyrirhugaðrar Djúparvirkjunar í Vestur-Skaftafellssýslu*. Unnið fyrir Orkustofnun vegna Rammaáætlunar. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-08013.

- Rögnvaldur Guðmundsson, 2010. *Erlendir ferðamenn á Íslandi sumarið 2010 og samanburður við sumrin á undan*. Rannsóknir og ráðgjöf ferðaþjónustunnar ehf. Unnið fyrir Ferðamálastofu.
- Saarienen, J., 2004. 'Destinations in change': The transformation process of tourist destinations. *Tourist Studies*, 4 (2), 161.
- Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 234-281.
- Samtök ferðaþjónustunnar, 2009. *Ferðaþjónusta - Hagtölur*. Skoðað 9. ágúst 2009 á <http://www.saf.is>
- Samvinnunefnd um svæðisskipulag Miðhálandis Íslands, 1998. *Miðhálandi Íslands. Svæðisskipulag 2015*. Greinargerð. Reykjavík: Höfundur.
- Seðlabanki Íslands, 2010. *Hagtölur - Ferðalög milli landa. Tekjur og gjöld*. Skoðað 30. janúar 2010 á <http://www.sedlabanki.is>
- Selvig E., 1992. Verdien av vassdragsnatur i internasjonal sammenheng. Í E. Selvig (Ritstj.), *Rapportserie fra Senter for miljø og utvikling*. Vedleggsdel med fagrapporter. Universitetet i Oslo, Serie A/Nr. 1/92 Miljøstudier.
- Sigurður H. Magnússon, Borgþór Magnússon, Erling Ólafsson, Guðmundur Guðjónsson, Guðmundur A. Guðmundsson, Hörður Kristinsson, Kristbjörn Egilsson, Kristinn H. Skarphéðinsson, Starri Heiðmarsson og Jón Gunnar Ottósson, 2009. *Vistgerðir á miðhálandi Íslands. Flokkun, lýsing og verndargildi*. Unnið vegna Rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ – 09008.
- Sinton, J., Karl Grönvold og Kristján Sæmundsson, 2005. Postglacial eruptive history of the western volcanic zone, Iceland. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems (G³)*, 12, 1-34.
- Skipulagsstofnun, 2005. *Leiðbeiningar um mat á umhverfisáhrifum framkvæmda*. Reykjavík: Höfundur.
- Skipulagsstofnun, 2007. *Leiðbeiningar um umhverfismat áætlana*. Reykjavík: Höfundur.
- Sólveig K. Pétursdóttir, Snædís H. Björnsdóttir, Guðmundur Óli Hreggviðsson og Sólveig Ólafsdóttir, 2010. *Lífriki í hverum á háhitasvæðum á Íslandi*. Heildarsamantekt unnin vegna Rammaáætlunar. Lokaskýrsla. Lífækni og lífefni. Skýrsla Matis 42-10.
- Stefán Arnórsson, 1995. Geothermal systems in Iceland: Structure and conceptual models – I. High-temperature areas. *Geothermics*, 24, 561-602.
- Stefán Arnórsson, 2004. Environmental impact of geothermal energy utilization. Í: Gieré, R. og Stille, P. (ritstj.) *Energy, Waste and the Environment: a geochemical perspective*, Geological Society, London, Special Publication, 236, 297-336.
- Stefán Arnórsson, Andri Stefánsson og Jón Örn Bjarnason, 2007. Fluid-fluid interaction in geothermal systems. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 65, 259-312.
- Stefán Arnórsson, Guðni Axelsson og Kristján Sæmundsson, 2008. Geothermal Systems in Iceland. *Jökull*, 58, 269-302.
- Stefán Arnórsson, Sveinbjörn Björnsson, Haukur Jóhannesson og Einar Gunnlaugsson, 1992. Vinnslueiginleikar lághitasvæða Hitaveitu Reykjavíkur. Í: *Árbók Verkfræðingafélags Íslands 1991/1992*, Reykjavík, 344-366.
- Survey of Energy Resources 2010*, 2010. World Energy Council – For sustainable energy (www.worldenergy.org/publications/3040.asp).
- Sveinbjörn Björnsson, 1980. Jarðhiti, grunnvatn og varmi. *Náttúrufræðingurinn*, 50, 271-293.
- Sørensen, Anne Scott, Høystad, Ole Martin, Bjurström, Erling og Vike, Halvard, 2010. *Nye kulturstudier: teorier og temaer*. København, Tiderne skifter.
- Thórhallsdóttir, T. E., 2007a. Strategic planning at the national level: evaluating and ranking energy projects by environmental impact. *Environmental Impact Assessment Review*, 27, 545-568.
- Thórhallsdóttir, T. E., 2007b. Environment and energy in Iceland: A comparative analysis of values and impacts. *Environmental Impact Assessment Review*, 27, 522-544.
- United States Department of Agriculture, 1995. *Landscape Aesthetics. A Handbook for Scenery Management 1995*. Agriculture Handbook no. 701. The Forest Service.
- Unnur Birna Karlsdóttir, 2010. *Náttúrusýn og nýting fallvatna. Um viðhorf til náttúru og vatnsaflsvirkjana á Íslandi 1900-2008*. Doktorsritgerð, Háskóli Íslands.
- Valdimar K. Jónsson og Matthías Matthíasson, 1974. Hraunkæling á Heimaey – framkvæmdir. *Tímarit Verkfræðingafélags Íslands*, 59, 71-82.

- Valgarður Stefánsson, 2000. The renewability of geothermal energy. Í ráðstefnuriti *World Geothermal Congress 2000, Kyushu – Tohoku, Japan, May 28 – June 10, 2000*, 883-888.
- Valgarður Stefánsson, Ómar Sigurðsson, Ásgrímur Guðmundsson, Hjalti Franzson, Guðmundur Ó. Friðleifsson og Helga Tulinius, 1997. Core measurements and geothermal modelling. Í ráðstefnuriti *Second Nordic Symp. on Petrophysics. Fractured reservoir. Nordic Petroleum Series: One*: 198-220.
- Walker, G. P. L., 1963. The Breiddalur central volcano, eastern Iceland. *Quart. J. Geol. Soc., London*, 119, 29-63.
- Walker, G. P. L., 1974. Eruptive mechanisms in Iceland. Geodynamics of Iceland and the North Atlantic Area. Í: Leó Kristjánsson (ritstj.), *NATO ASI Series*, 189-201.
- Wallsten, P., 1988. *Rekreation i Rogen : tillämpning av en planeringsmetod för friluftsliv*. Trondheim: Komitéen for miljøvern - KOMMIT, Universitetet i Trondheim.
- Weaver, D. B., 1998. *Ecotourism in the less developed world*. Oxon; New York: CAB International.
- VGK-Hönnun, 2007. *Virkjanir í Efri-Hvítá ofan Gullfoss. Forathugun*. Unnið fyrir Orkustofnun vegna Rammaáætlunar. Reykjavík: Orkustofnun, skýrsla nr. OS-2006/009.
- Þóra Ellen Þórhallsdóttir, Þorvarður Árnason, Hlynur Bárðarson og Karen Pálsdóttir, 2010. *Íslenskt landslag. Sjórnæn einkenni, flokkun og mat á fjölbreytni*. Unnið fyrir Orkustofnun vegna rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Reykjavík: Háskóli Íslands. Reykjavík.
- Þráinn Friðriksson, Bjarni Reykr Kristjánsson, Halldór Ármannsson, Eygerður Margrétardóttir, Snjólaug Ólafsdóttir og Chiodini, Giovanni, 2006. CO₂ emissions and heat flow through soil, fumaroles, and steam heated mud pools at the Reykjanes geothermal area, SW Iceland. *Applied Geochemistry*, 21, 1551-1569.

Ýmis vefböng

Almennt

<http://www.os.is/page/rammi>

<http://www.rammaaetlun.is>

<http://www.rammaaetlun.is/2-afangi>

<http://www.rammaaetlun.is/kynningar—og-umsagnarferli/>

<http://www.skipulag.is>

Faghópur I

<http://www.cbd.int/>

<http://www.coe.int/t/dg4/cultureheritage/heritage/landscape/VersionsConvention/Islandais.pdf>

<http://www.klif.no/publikasjoner/2523/ta2523.pdf>

<http://www.ni.is/grodur/rannsoknir/vistgerdir/vistgerdir2>

<http://www.ni.is/grodur/valisti/>

http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-home/main/ramsar/1_4000_0__

http://www.umhverfisraduneyti.is/media/PDF_skrar/Samningur-um-lifraedilega-fjolebreytni.pdf

http://www.wilderness.net/NWPS/documents/publiclaws/PDF/16_USC_1131-1136.pdf

Úr 9. kafla

<http://www.althingi.is/lagas/nuna/2001107.html>

<http://brunnur.stjr.is/mrn/logogregl.nsf/nrar/auglysingar421995>

<http://conventions.coe.int/Treaty/en/Treaties/Html/176.htm>

<http://conventions.coe.int/Treaty/EN/Treaties/PDF/Icelandic/143-Icelandic.pdf>

http://www.rha.is/is/page/utgefid_efni_2010

Viðaukar

V.1. Skipunarbréf verkefnisstjórnar



IDNADARRÁÐUNEYTI

Arnarhvoli 150 Reykjavík

sími 545 8500 bréfasími
562 1289

postur@idn.stjr.is

www.idnadarraduneyti.is

Reykjavík, 21. ágúst 2007

Tilv.: IDNxxxxxxxxx

Efni: Skipun í verkefnisstjórn rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma

Ríkisstjórnin hefur einsett sér að skapa sátt um vernd og nýtingu náttúrusvæða og leggur því mikla áherslu á að ljúka sem fyrst rannsóknum á verndargildi þeirra og gildi annarrar nýtingar, með sérstaka áherslu á háhitasvæði landsins og flokkun þeirra með tilliti til verndar og orkunýtingar.

Iðnaðarráðherra hefur því í samráði við umhverfisráðherra ákveðið að skipa verkefnisstjórn til að stýra vinnu vegna 2. áfanga rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Verkefnisstjórninni er ætlað að ákveða hvernig haga á mati á virkjunarkostum í þessum áfanga, sem og að vinna samræmt heildarmat fyrir alla þá virkjunarkosti sem verið hafa til umfjöllunar í 1. og 2. áfanga rammaáætlunarinnar með hliðsjón af stefnuyfirlýsingu ríkisstjórnarinnar. Verkefnisstjórnin skal einnig yfirfara fyrirbyggjandi samninga um rannsóknir og meta hvort þeir samningar séu fullnægjandi fyrir þau markmið sem stefnt er að eða hvort semja þurfi um frekari rannsóknir.

Í verkefnisstjórnina hafa verið skipaðir eftirfarandi aðilar:

Svanfríður Jónasdóttir, bæjarstjóri í Dalvíkurbyggð, tilnefnd sem formaður verkefnisstjórnar af iðnaðarráðherra og umhverfisráðherra sameiginlega.

Elín R. Líndal, oddviti Húnaþings vestra, tilnefnd af Sambandi íslenskra sveitarfélaga.

Ellý Katrín Guðmundsdóttir, forstjóri Umhverfisstofnunar, tilnefnd af Umhverfisstofnun.

Eydís Aðalbjörnsdóttir, verkefnisstjóri hjá Samtökum ferðaþjónustunnar, tilnefnd af Samtökum ferðaþjónustunnar.

Freysteinn Sigurðsson, jarðfræðingur, tilnefndur af náttúruverndarsamtökum.

Hjörleifur B. Kvaran, aðstoðarforstjóri Orkuveitu Reykjavíkur, tilnefndur af Samorku.

Stefán Arnórsson, prófessor, tilnefndur af iðnaðarráðuneyti.

Unnur Brá Konráðsdóttir, sveitarstjóri í Rangárþingi eystra, tilnefnd af forsætisráðuneyti.

Þorkell Helgason, orkumálastjóri, tilnefndur af Orkustofnun.

Þorsteinn Tómasson, skrifstofustjóri, tilnefndur af landbúnaðarráðuneyti.

Þóra Ellen Þórhallsdóttir, prófessor, tilnefnd af umhverfisráðuneyti.

Starfsmenn verkefnisstjórnarinnar verða Hreinn Hrafnkelsson, sérfræðingur í iðnaðarráðuneyti og Ingibjörg Halldórsdóttir frá umhverfisráðuneyti.

Markmið rammaáætlunarinnar er að skapa faglegar forsendur fyrir ákvörðun um vernd og nýtingu náttúrusvæða með áherslu á vatnsafls- og jarðhitasvæði. Í áætluninni skal leggja mat á og flokka virkjunarkosti, jafnt vatnsafls og háhita og áhrif þeirra á náttúrufar, náttúru- og menningarminjar, meðal annars með tilliti til orkugetu, hagkvæmni og annars þjóðhagslegs gildis, samhliða því að skilgreina og meta áhrif á hagsmuni allra þeirra sem nýtt geta þessi sömu gæði.

Skipulagammaáætlunarinnar er þrjúþætt. Heildarstjórn verkefnisins er í höndum verkefnisstjórnar, en meginhlutverk hennar er að semja tillögu að rammaáætlun um nýtingu vatnsafls og jarðvarma. Undir verkefnisstjórn starfa faghópar skipaðir af sérfræðingum á viðeigandi sviðum sem ætlað er að fara yfir virkjunarkosti hver frá sínum sjónarhóli, meta þá með stigagjöf og gera tillögur til verkefnisstjórnar. Fjöldi faghópa og skipan þeirra verður ákveðin af verkefnisstjórninni. Loks verður hagsmuna- og áhugaaðilum boðin þátttaka í sérstökum samráðsvettvangi sem ætlaður er til samráðs vegna verkefnisins.

Verkefnisstjórnin skal upplýsa iðnaðarráðherra, umhverfisráðherra og Alþingi reglulega um störf sín, auk þess að hafa víðtækt samráð við almenning og alla hagsmunaaðila á starfstíma sínum, m.a. með kynningarfundum og sérstakri vefsíðu með upplýsingum fyrir almenning og

hagsmunaaðila.

Verkefnisstjórnin skal ljúka störfum og skila skýrslu til iðnaðarráðherra og umhverfisráðherra með heildarmati og flokkun á þeim kostum sem teknir voru fyrir í 1. og 2. áfanga rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma fyrir 1. júlí 2009.

Iðnaðarráðherra mun á grundvelli niðurstaðna skýrslu verkefnisstjórnar og að höfðu samráði við umhverfisráðherra og verkefnisstjórnina leggja fyrir Alþingi fyrir lok ársins 2009 tillögu að rammaáætlun um verndun og nýtingu náttúrusvæða með áherslu á vatnsafls- og jarðvarmasvæði.

Þetta verkefni er mikilvægur hluti af því markmiði ríkisstjórnarinnar að skapa sátt um vernd og nýtingu náttúrusvæða, sem fjallað er um í stefnuyfirlýsingu ríkisstjórnarinnar.

Fyrir hönd ráðherra



Kristján Skarphéðinsson



Hreinn Hrafnkelsson

V.2 Bréf ráðherra til verkefnisstjórnar 17. október 2007

Svanfríður Jónasdóttir,
formaður verkefnisstjórnar
rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma
Laugahlið
621 Dalvík

Reykjavík, 17. október 2007

Í skipunarbréfi verkefnisstjórnar rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma kemur fram að verkefnisstjórnin skuli leggja mat á og flokka virkjunarkosti, jafnt vatnsafls og háhita og áhrif þeirra á náttúrufar, náttúru- og menningarminjar, meðal annars með tilliti til orkugetu, hagkvæmni og annars þjóðhagslegs gildis, samhliða því að skilgreina og meta áhrif á hagsmuni allra þeirra sem nýtt geta þessi sömu gæði.

Vegna aukinnar áherslu á verndun menningar- og náttúruminja hefur ráðherra ákveðið að beina þeim tilmælum til verkefnisstjórnarinnar að hún taki í starfi sínu einnig tillit til þeirra reglna sem gilda um þær menningar- og náttúruminjar sem falla undir heimsminjaskrá Menningarmálastofnunar Sameinuðu þjóðanna (UNESCO).

Jafnframt hefur ráðherra ákveðið, með hliðsjón af þeirri áherslu sem lögð er á verndargildi og orkunýtingu háhitasvæða í stefnuýfirlýsingu ríkisstjórnarinnar, að beina því til verkefnisstjórnarinnar að hún semji, í samráði við sérfræðinga á þessu sviði, drög að reglum um framkvæmdir á háhitasvæðum. Í þeirri vinnu skal hafa það að markmiði að reglurnar tryggi lágmörkun umhverfisáhrifa við framkvæmdir á háhitasvæðum. Jafnframt óskar ráðherra eftir því að verkefnisstjórnin semji drög að reglum reglum er hafi það að markmiði að tryggja sjálfbæra nýtingu jarðvarma. Í starfi þessu skal verkefnisstjórnin taka tillit til viðeigandi alþjóðasamninga og yfirlýsinga sem Ísland á aðild að, m.a. Ríó-yfirlýsingarinnar og meginreglna umhverfisréttar.

Fyrir hönd ráðherra



Kristján Skarphéðinsson



Hreinn Hrafnkelsson

Viðauki V.3 Jarðhiti á Íslandi

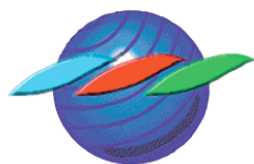
Verkefnisstjórn rammaáætlunar um vernd og nýtingu náttúrusvæða með áherslu á vatnsafl og jarðhita

Viðauki við skýrslu verkefnisstjórnar um 2. áfanga

JARÐHITI Á ÍSLANDI

**Eðli auðlindar og ending
Verklag við undirbúning að vinnslu
Umhverfisáhrif af nýtingu**

Stefán Arnórsson
Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands



Apríl, 2011

Efnisyfirlit

Inngangur	3
1. Eðli háhitasvæða	4
1.1 Flokkun jarðhitasvæða og jarðfræðileg einkenni þeirra	4
1.2 Fjöldi, stærð og þróun háhitasvæða.....	6
1.3 Varmagjafinn	7
1.4 Vinnsloeiginleikar.....	8
2. Mat á stærð auðlindar	10
3. Endurnýjanlegar og endanlegar orkulindir	12
3.1 Inngangur.....	12
3.2 Varmaorka jarðar og jarðhitakerfa	12
3.3 Endurnýjanleiki jarðhitakerfa.....	13
3.4 Varmagjafinn	14
3.4.1 Háhitakerfi	14
3.4.2 Lághitakerfi	16
3.5 Hræring og lekt	16
3.6 Varmanám úr bergi	18
4. Sjálfbær þróun	21
4.1 Skilgreiningar og viðhorf.....	21
4.2 Írennsli.....	22
5. Aðferðafræði við undirbúning að nýtingu jarðhita	27
6. Umhverfisáhrif	30
6.1 Helstu áhrif á nær- og fjærumhverfið	30
6.2 Leiðir til að draga úr umhverfisáhrifum og stuðla að sjálfbærni	30
6.3 Nýting orkulinda og verndun náttúrusvæða	31
7. Flokkun virkjunarhugmynda og sjálfbær þróun	33
7.1 Röðun virkjunarhugmynda	33
7.2 Sjálfbær þróun	33
8. Helstu niðurstöður	36
9. Tilvitnanir	38
Viðauki 1. Upplýsingar úr Mineral Commodities (2010)	41

INNGANGUR

Þessi skýrsla um jarðhita er rituð að beiðni verkefnisstjórnar 2. áfanga rammaáætlunar en þar á höfundur sæti sem fulltrúi iðnaðarráðherra. Óskað var eftir sérfræðialiti sem yrði viðauki við heildarskýrslu Verkefnisstjórnarinnar líkt og skýrslur faghópa. Skoðanir í skýrslunni eru álit höfundar.

Fjallað er um ýmsa þá þætti háhitaauðlindarinnar sem ekki eru teknir til umræðu í skýrslum faghópa, einkum

- eðli háhitasvæða
- hvort einstök jarðhitasvæði séu endurnýjanleg eða endanleg auðlind
- tilgang þess að meta stærð auðlinda í jörðu
- sjálfbæra þróun með tilliti til jarðhita
- hefðbundið verklag við undirbúning að vinnslu jarðhita og annarra auðlinda í jörðu
- umhverfisáhrif af jarðhitanytingu

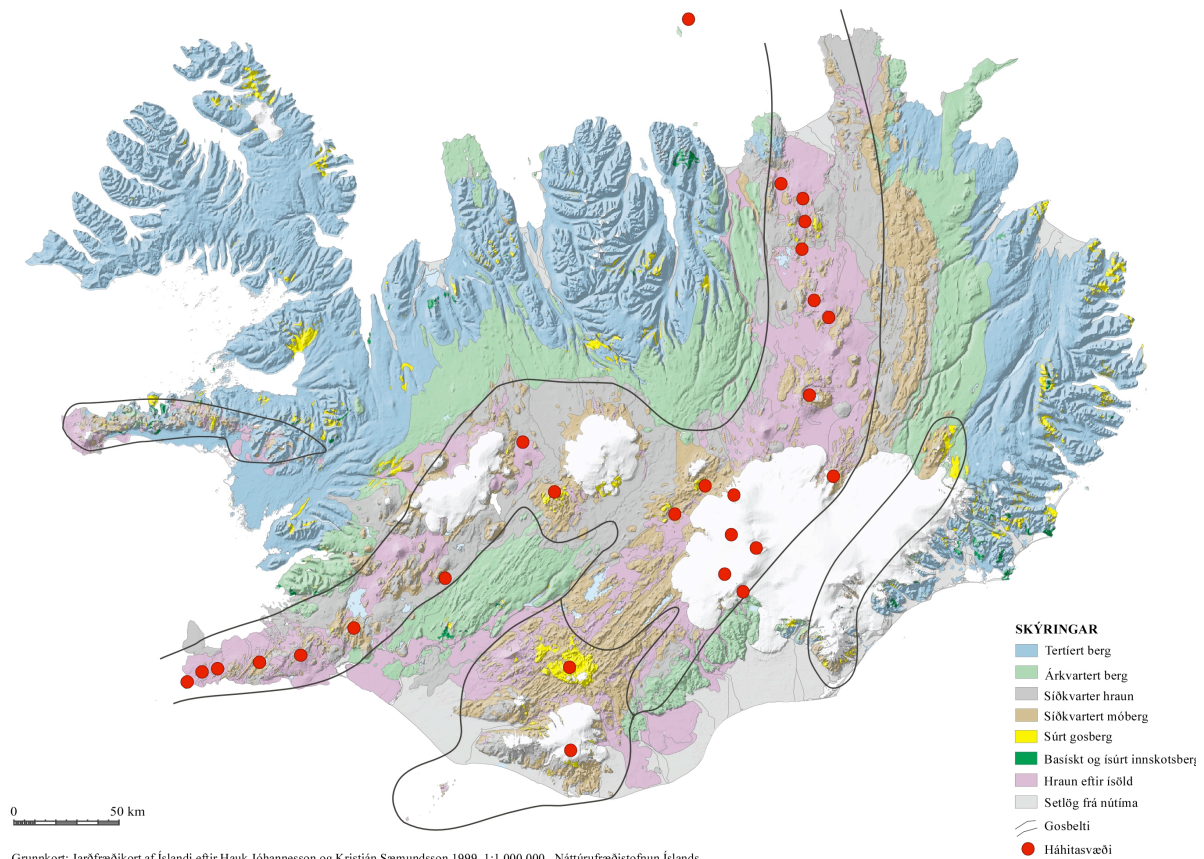
Loks er fjallað um nokkur atriði sem tengjast nýtingu háhitakerfa og fallvatna með tilliti til eðlismunar þessara orkulinda og/eða verndunar náttúrusvæða þar sem þær er að finna.

1. EÐLI HÁHITASVÆÐA

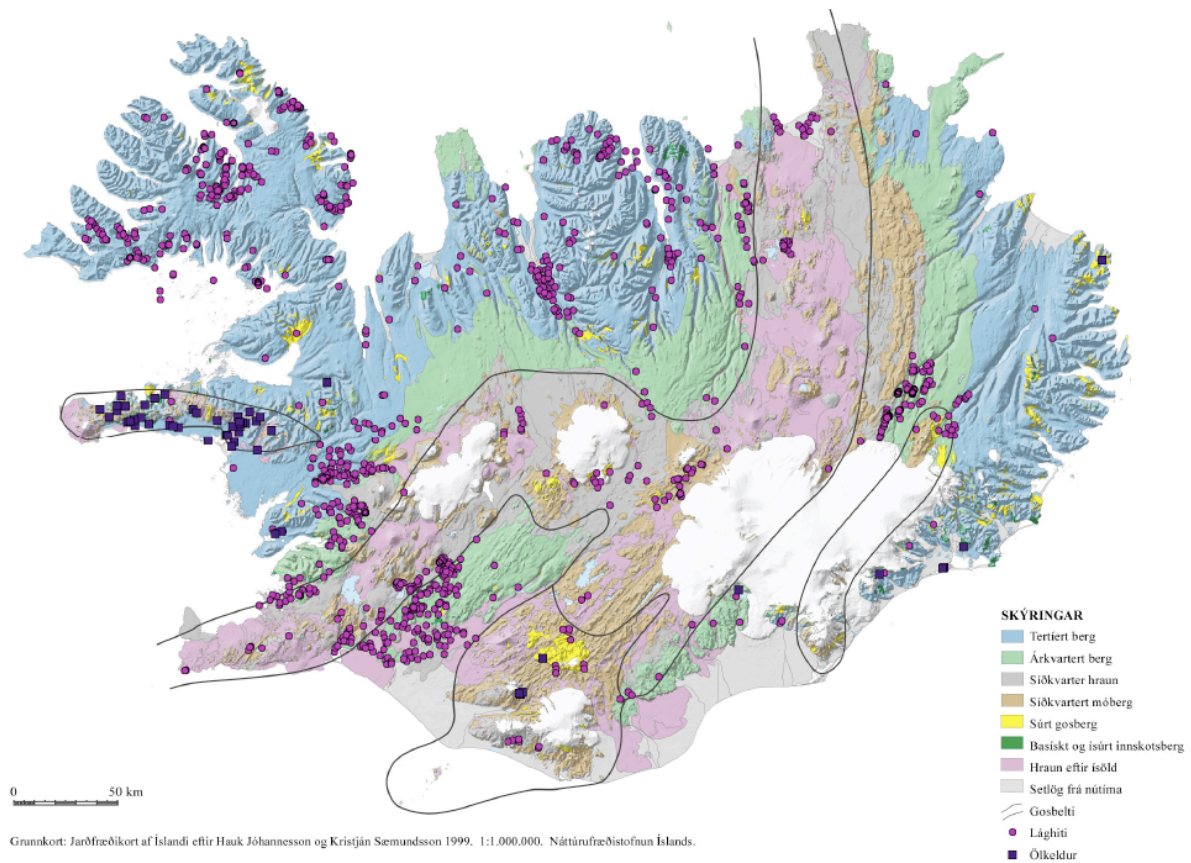
1.1 Flokkun jarðhitasvæða og jarðfræðileg einkenni þeirra

Gunnar Böðvarsson (1961) skipti jarðhitasvæðum á Íslandi í tvo meginflokka, háhitasvæði og lághitasvæði. Hann flokkaði jarðhita undir 150°C sem lághita en jarðhita yfir 200°C á tiltölulega litlu dýpi sem háhita. Auk þess flokkaði hann tvö jarðhitasvæði sem jaðarsvæði, þ.e. millistig milli háhita- og lághitasvæða. Háhitasvæðin liggja í hinum virku gosbeltum landsins (mynd 1) en lághitasvæðin fyrst og fremst í eldri berggrunni, kvarterum og tertíerum, þótt þau finnist einnig í yngra bergi (mynd 2). Jaðarsvæðin tvö eru bæði nálægt jöðrum gosbeltanna. Þau eru Geysissvæðið í Haukadal og Hveravellir í Reykjahverfi. Eldri skipting jarðhitasvæða í tvo flokka sem svarar vel flokkun Gunnars er vatnshverasvæði (lághitasvæði) og gufuhverasvæði (háhitasvæði). Ingvar Birgir Friðleifsson (1979) benti á að hiti í borholum á háhitasvæðum væri yfir 200°C ofan 1000 metra dýpis en undir 150°C í lághitasvæðum ofan sama dýpis. Þegar þessi ábending kom fram hafði verið borað lítið í jarðhitasvæði miðað við það sem nú er og nokkur frávík eru þekkt frá flokkun Ingvars Birgis eins og t.d. að Reykjabóli í Hrunamannahreppi.

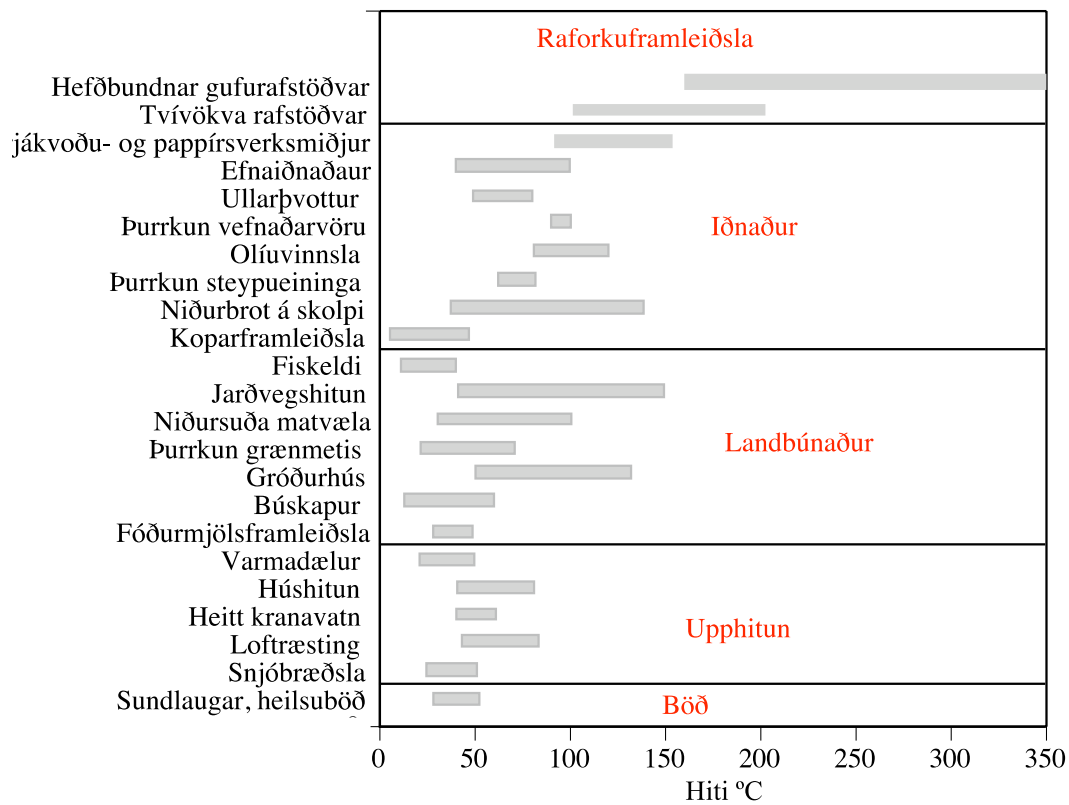
Flokkun Gunnars á jarðhitasvæðum á Íslandi byggir vissulega á því jarðfræðilega umhverfi sem svæðin liggja í en nafngiftin höfðar jafnframt til hvoru tveggja í senn, hitans í svæðunum og notagildis þeirra, en notkunarmöguleikar jarðhitavökva fara fyrst og fremst eftir hitastigi hans (mynd 3). Miðað við flokkun sem sett hefur verið fram af Goff og Janik (2000) mætti flokka háhitasvæði sem svæði í ungu storkubergi en lághitasvæðin, a.m.k. flest þeirra, sem tektónísk svæði eða með öðrum orðum svæði sem tengjast ungum tektónískum, vatnslekum sprungum í annars eldri og vatnspéttari berggrunni.



Mynd 1. Þekkt háhitasvæði á Íslandi.



Mynd 2. Lághiti og ölkeldur á Íslandi.



Mynd 3. Línurit Baldurs Líndal sem sýnir notkunarmöguleika jarðhitavats og gufu eftir hitastigi.

Flest virk háhitasvæði á Íslandi finnast í sambærilegu jarðfræðilegu umhverfi eða þar sem sprungusveimar skera flekaskil. Í eystra gosbeltinu einkenna megineldstöðvar þessa skurðpunkta. Á Reykjanesskaga eru hins vegar engar megineldstöðvar. Að minnsta kosti þrjú háhitasvæði liggja á virkum sprungusveimum skammt frá megineldstöðvum, Námafjall, Nesjavellir og Hellisheiði. Varmagjafi ungra háhitasvæða sem tengjast sprungusveimum eingöngu er að líkindum aðallega gangar auk silla en í háhitasvæðum í megineldstöðvum eru þessar og fleiri gerðir innskota, eins og keilugangar auk djúpstæðari eitla.

Líklegt er talið að varmagjafi háhitasvæðanna innan gosbeltanna sé innskot, ýmist kvika eða storkuberg sem enn er að kólna niður eftir að kvikan storknaði. Varmagjafi lághitasvæðanna er hins vegar heitt berg í rótum þeirra (sjá kafla 3). Talið er að hitastigið í lághitakerfunum ráðist af hitastigli og botni hringrásar grunnvatns (nefnt base depth af Gunnari Böðvarssyni, 1961). Hitastigullinn annars vegar og heit innskot í rótum háhitakerfa hins vegar eru talin gera það að verkum að jarðhitakerfi með hita á bilinu 150-200°C eru sjaldgæf.

1.2 Fjöldi, stærð og þróun háhitasvæða

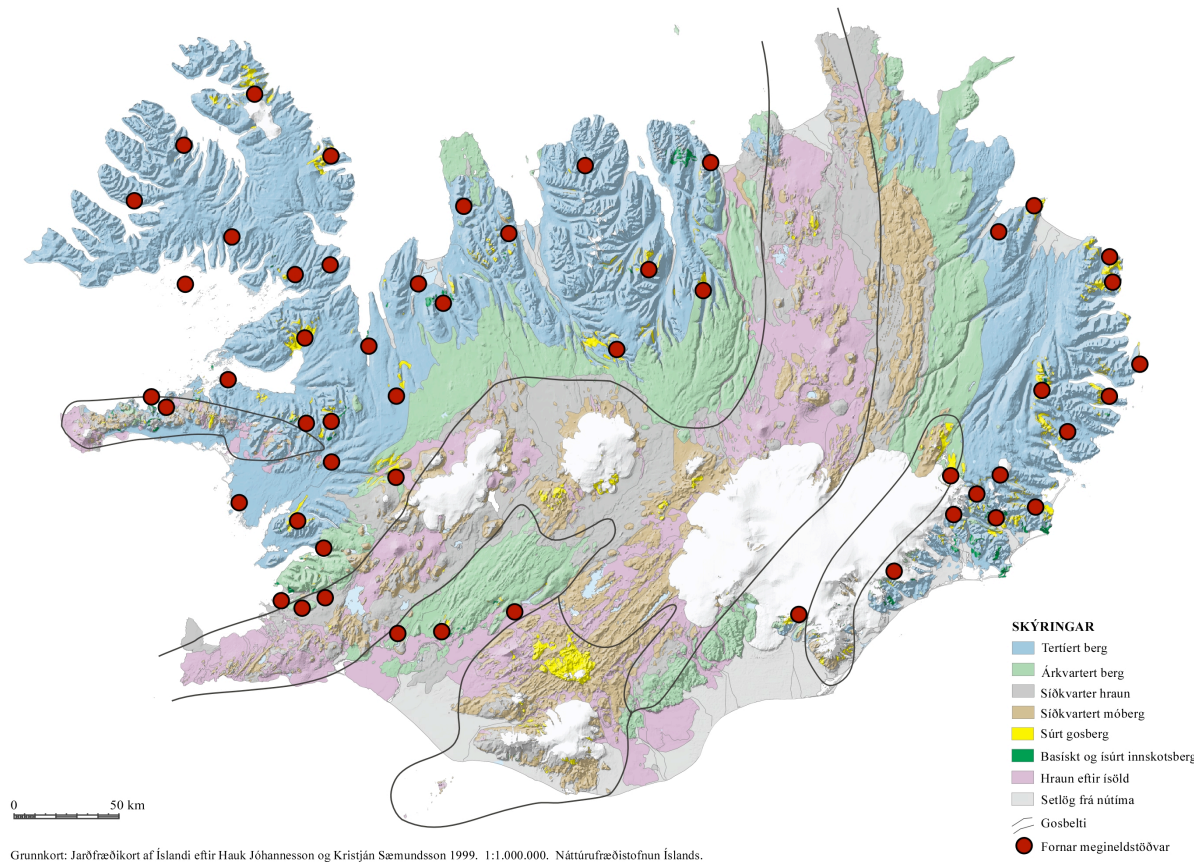
Guðmundur Pálmason o.fl. (1985) nefna alls 28 háhitasvæði og telja Svartsengi-Eldvörp vera eitt svæði. Eftir að skýrsla þeirra félaga kom út hafa boranir sýnt að eitt þessara svæða er lághitasvæði (Öxarfjörður), eitt er undir sjó (Kolbeinsey) og tvö eru líklega ekki háhitasvæði (Tindfjallajökull, Prestahnúkur) en fjögur eru undir jökli (Mýrdalsjökull, Grímsvötn, Hofsjökull, Þórðarhyrna). Loks skal nefnt að eitt þeirra svæða sem Guðmundur Pálmason o.fl. (1985) telja hluta af Torfajökulssvæðinu er annars staðar talið sérstakt svæði (Blautakvísl). Með því að telja Blautukvísl hluta af Torfajökulssvæðinu eru háhitasvæðin 19 sem eru tæknilega nýtanleg vegna legu sinnar. Í skýrslu Verkefnisstjórnar rammaáætlunar (2011) sem þessi skýrsla er viðauki við eru svæðin talin 20 og hefur Stóra-Sandvík á Reykjanesskaga bæst við en ekki er alveg víst hvort þetta nýja háhitasvæði er sjálfstætt háhitasvæði eða hluti af Reykjanessvæðinu. Á mynd 1 eru sýnd alls 27 háhitasvæði, þar af eitt undir sjó og 6 undir jökli. Ennfremur eru Eldvörp og Svartsengi talin tvö svæði en Stóra-Sandvík ekki talin sem sérstakt svæði heldur sem hluti af Reykjanesi þótt það sé óljóst.

Háhitasvæðin eru mjög misstór að flatarmáli, 2-140 km² samkvæmt Guðmundi Pálmasynti o.fl. (1985) en 5-253 km² samkvæmt niðurstöðu í skýrslu Verkefnisstjórnar rammaáætlunar (2011) en hún byggir á viðnámsmælingum (Jónas Ketilsson o.fl., 2009).

Öll háhitasvæði eiga sitt upphaf, sögu og endalok. Takmarkaðar upplýsingar eru til um aldur einstakra svæða en mat sem m.a. byggir á fornum, rofnum háhitasvæðum í kvarter og tertíer jarðmyndunum bendir til þess að hann geti legið á bilinu tugir til hundruð þúsunda ára. Athuganir sýna að jarðhitasvæðið á Reykjanesi var virkt á ísöld og er því meira en 10.000 ára, líklega mun eldra (Pope o.fl., 2009). Sá möguleiki er fyrir hendi, eins og t.d. á Krísuvíkursvæði, að sum háhitasvæði eða hlutar þeirra gætu verið mjög skammlíf, afleiðing af einu smáu kvikuinnskoti sem leiðir af sér myndun gufuhvera í einhverja áratugi eða aldir, sbr. Hverinn Eina.

Eins og fram hefur komið liggja flest hinna virku háhitasvæða landsins á flekaskilum, nánar tiltekið þar sem sprungusveimar skera þessi skil. Þrjú háhitasvæði eru þó alllangt frá slíkum skilum (Hveragerði, Geysissvæðið og Hveravellir á Kili). Háhitasvæði á flekaskilum eru ung jarðfræðilega en þau sem liggja utan þeirra í eldra bergi eru talin eldri. Forn háhitasvæði er víða að finna utan gosbeltanna (mynd 4). Alls eru þekkt 42 forn háhitasvæði í tertíer berggrunni (3-15 milljón ára gamall) og 10 í árkwarterum (0,8 til ~3ja milljón ára gamall). Um það bil eitt háhitasvæði hefur því myndast að meðaltali í hinum eldri berggrunni

á 280 þúsund ára fresti. Innan virku gosbeltanna eru 27 háhitasvæði þekkt, en þau eru í 0-500 þúsund ára gömlu bergi. Því hefur eitt svæði myndast að meðaltali hver 19 þúsund ár.



Mynd 4. Megineldstöðvar á Íslandi í tertíer og kvarter berggrunni. Í þessum megineldstöðvum eru forn háhitasvæði.

Þegar háhitasvæði eldast kaffærast þau undir yngri hraunlögum. Þau geta sokkið á flekaskilunum undan nýjum hraunlögum eða rekið frá þeim út úr gosbeltunum. Ef þau berast út úr gosbeltunum tekur rof við og þannig skilar sér berg ummyndað af háhita aftur til yfirborðs. Það er einmitt hið ummyndaða berg sem er sönnun þess að um fornan háhita er að ræða. Búast má við því að háhitakerfi séu til innan gosbeltanna þótt yfirborðsmerki finnist engin. Þessi svæði hafa grafist undir yngri gosmyndunum um leið og þau rekur frá flekamótunum til jaðra gosbeltanna. Eins gætu forn háhitasvæði utan gosbeltanna verið fleiri en þau sem nú sjást á yfirborði. Raunar er það svo að tvö forn, grafín háhitasvæði eru þekkt í kvarter berggrunni en þau hafa nú breyst í lághitasvæði. Þetta er Laugarnessvæðið í Reykjavík og lághitasvæðin að Reykjum og Reykjahlíð í Mosfellsbæ.

1.3 Varmagjafinn

Varmagjafi ungra háhitasvæða er grunnstæð kvikuinnskot eða storkuberg sem enn er afbrigðilega heitt eftir storknun. Kvika sem myndar stór innskot og tiltölulega djúpstæð (>2 km) verður að gabbróí eða granófýr við storknun. Smærri og grunnstæðari kvikuinnskot verða að smá- eða dulkornóttu bergi, dóleríti eða basalti, ef kvikan er basísk. Slík innskot eru algeng á 1-2 km dýpi. Þetta sýna athuganir, bæði á fornum háhitasvæðum og eins boranir í virk háhitakerfi (t.d. Walker, 1963; Stefán Arnórsson, 1995; Hjalti Franzson, 1995, 1998, 2000, 2004).

Jarðskorpan undir Íslandi skiptist í 5 lög (0 til 4, Guðmundur Pálmason, 1973). Næstneðsta lagið, lag 3 er að mestu gert úr innskotabergi (Walker, 1974) og því tiltölulega eðlisþungt miðað við basíska kviku. Hins vegar er lag 2 eðlisléttara en það lag er gert úr hraunlögum en einnig innskotum að nokkru. Basísk kvika sem leitar upp úr möttli hefur tilhneigingu til að mynda innskot á mótum laga 2 og 3 vegna eigin eðlisþyngdar og eðlisþyngdarmunar þessara laga. Af þeim sökum þykknað lag 3 við það að það hleðst ofan á það. Kvikuinnskot efst í lagi 3 og ofar eru talin meginvarmagjafi háhitasvæða. Dýpi niður á lag 3 er breytilegt (Guðmundur Pálmason, 1973), oft á bilinu 3-4,5 km í gosbeltunum. Þá er talið að stórar kvikuþrær hafi tilhneigingu til að myndast á mótum skorpu og möttuls. Þessar þrær fæða líklega grunnstæðari innskot öðru hverju (Ágúst Guðmundsson, 1987). Einnig er talið að kvika geti leitað beint úr möttli upp í efstu lög jarðskorunnar eða til yfirborðs.

Háhitakerfi myndast um leið og kvikuinnskot kemur af stað hræringu grunnvatns. Þessi hræring felur í sér að heitt vatn ofan innskotsins stígur og kaldara vatn rennur að varmagjafanum. Uppstreymi heita vatnsins veldur því að varmi flyst frá varmagjafanum upp í ofanálíggjandi jarðlög og hitar þau upp. Þannig safnast upp varmi frá kviku-varmagjafanum í grunnstæðara bergi. Ef svæðin sökkva ekki niður á mikið dýpi á eða við flekamót, rekur þau með tímanum frá flekamótunum og þá slitna þau frá varmagjafanum. Gömul háhitakerfi sem hafa slitnað frá varmagjafanum eru varmanámur af heitum vökva í heitu bergi; varminn í þeim tapast smátt og smátt við streymi grunnvatns gegnum hið heita berg og með leiðingu – kerfið kólnar. Hins vegar bendir allt til þess að kvikuinnskot viðhaldi að langmestu varmastreymi inn í ung háhitakerfi. Sum háhitakerfi sem rekið hefur út úr gosbeltunum eru orðin að lághitakerfum, eins og Laugarnessvæðið í Reykjavík og Reykja- og Reykjahlíðarsvæðin í Mosfellsbæ.

Athuganir sem byggja á styrk klóríðs og bórs í jarðhitavatni gefa til kynna að þessi efni séu að mestu ættuð frá kviku í sumum ungum háhitasvæðum (Reykjanes, Nesjavöllir, Námafjall, Krafla) en jarðhitavatnið í eldri háhitasvæðum (Geysissvæði, Hveravellir á Kili, Hveragerði) og einnig í Landmannalaugum “sér” ekki kvikugös (Giroud, 2008).

1.4 Vinnslueiginleikar

Borað hefur verið í alls 9 háhitasvæði. Flæði úr einstökum borholum er mjög breytilegt, bæði innan og milli svæða. Flæðið endurspeglar lekt jarðlaganna. Á svæðunum í Námafjalli, Nesjavöllum, sums staðar á Hellisheiði, Svartsengi og Reykjanesi eru borholur gæfar. Í Kröflu er lekt hins vegar minni að meðaltali. Þá hefur ekki enn fundist góð lekt á Krísuvíkursvæði. Á Kröflusvæði er ljóst að léleg lekt tengist miklu magni innskota sem eru þétt nema þar sem jarðskorpuhreyfingar hafa brotið þau upp. Á Krísuvíkursvæði hafa verið boraðar margar holur, bæði grunnar og djúpar, en viðunandi árangur hefur aldrei fengist hvað varðar vatns- og gufuflæði úr holum. Breytileg lekt milli svæða endurspeglast m.a. í fjölda hola sem boraðar hafa verið miðað við stærð virkjunar. Þannig hafa verið boraðar alls 40 holur í Kröflu fyrir 60 MW raforkuver en 23 á Nesjavöllum fyrir 120 MW raforkuver og 300 MW jarðvarmaorkuver.

Á veraldarvísu eru það aðallega tveir þættir sem hafa leitt til þess að hætt hefur verið við nýtingu jarðhitasvæðis eftir að borað hafði verið í svæðið, ófullnægjandi lekt annars vegar og efni í vatni og gufu hins vegar sem ýmist valda útfellingum eða tæringu eða rýra gæði gufu með miklu gasi en einstaka sinnum er orsökina óásættanleg umhverfisáhrif. Ördugleikar hafa orðið við nýtingu nokkurra borhola á Kröflusvæði, bæði fyrr og nú, fyrst vegna mikils gass í gufu í kjölfar eldsumbrotanna sem hófust 1975 og síðar vegna þess að vatn í æðum í djúpum borholum er súrt. Viða um lönd er að finna súrt og því tærandi borholuvatn eins og t.d. í Japan, á Filippseyjum, Indónesíu og á Kosta Ríka (IAEA, 2005), auk Kröflu. Á hluta Torfajökulssvæðis er magn koltvíoxíðs í gufuaugum mjög hátt (Jón Örn Bjarnason og

Magnús Ólafsson, 2000). Það er talið endurspegla háan styrk þessarar gastegundar í djúpvökva sem hefði umtalsverð áhrif á gæði gufu úr borholum til raforkuframleiðslu væri þar borað.

Reynslan frá Kröflu sýnir að óvissa er um árangur borana þegar holur eru dýpri en 2ja km vegna hættu á því að holan lendi í súrum vökva. Einnig virðist lekt oft léleg neðan þessa dýpis sem orsakast af mikilli tíðni innskota. Bergið í innskotunum er þétt og því ekki lekt nema þar sem tektóniskar sprungur hafa höggvið þau í sundur. Sama gæti gilt um fleiri háhitasvæði sem liggja í megineldstöðvum. Þó verður ekkert sagt með vissu um afl borhola á háhitasvæðum og gæði holuvökvans fyrr en borað hefur verið í þau.

Sett hafa verið fram almenn líkön af háhitasvæðum á veraldarvísu. Fyrsta háhitakerfið sem tekið var til nýtingar var þurrufusvæðið í Larderello á Ítalíu í upphafi tuttugustu aldar. Þetta svæði einkennist af því að eingöngu gufa streymir úr borholum og gufa ræður vökvaþrýstingi í berginu. Almenn er talið að gufan hafi orðið til við suðu á mjög djúpstæðu vatni og að hún hafi safnast upp á minna dýpi undir þéttu þakbergi (Goff og Janik (2000). Wairakei-svæðið á Nýja-Sjálandi er fyrsta háhitasvæðið af svokallaðri heitavatnsgerð sem nýtt var til raforkuframleiðslu en þar er eingöngu vatn í jarðhitalindinni neðan ákveðins dýpis. Virkjun á þessu svæði var gangsett 1958. Þetta svæði hefur gjarnan verið skoðað sem dæmigert vatns-háhitasvæði. En seinni tíma boranir og athuganir hafa leitt í ljós að háhitasvæði af nefndri gerð geta verið mjög mismunandi. Á Íslandi eru jarðfræðilegar aðstæður þannig að kvikuinnskot sem eru varmagjafi háhitasvæðanna eru tiltölulega mjög grunnstæð og líkur á að bæði vatn og gufa séu til staðar í rótum sumra jarðhitakerfa næst varmagjafanum. Raunar benda athuganir á Kröflusvæði og Hellisheiði til þess að gufupúði geti verið til staðar næst kviku-varmagjafanum, ofar er tvífasakerfi (blanda af vatni og gufu), svonefnt neðra kerfi í Kröflu og efst heitavatnskerfi (nefnt efra kerfi í Kröflu) þar sem vatn er neðan suðumarks (t.d. Halldór Ármannsson o.fl., 1987). Efni í jarðhitavökvunum benda til þess að tvífasakerfið í Kröflu sé blanda af gufu úr gufupúðanum sem undir liggur og heita vatninu sem ofar liggur (Giroud, 2008). Grunnvatn streymir úr norðri yfir varmagjafann og gufupúðann og hitnar við uppstreymi gufunnar. Sambærileg mynd hefur verið dregin upp á Alto Peak jarðhitasvæðinu á Filippseyjum (Angcoy, 2010). Ofangreind mynd af flæði vatns og gufu í háhitakerfi gefur kerfinu aðra vinnslueiginleika en háhitakerfum sem hafa sambærilega byggingu og Wairakei.

Það almenna líkan sem helst gæti lýst einkennum háhitakerfa á Íslandi og byggir á jarðfræði er eftirfarandi: Varmagjafinn er kvika eða heit innskot. Heitt vatn og gufa rís yfir varmagjafanum. Írennsli kalds grunnvatns er tiltölulega mest eftir sprungum sem liggja gegnum kerfin og út fyrir þau en einnig niður eftir sprungum innan kerfisins. Góð lekt er þó ekki bundin við sprungur. Ýmsar aðrar jarðmyndanir geta verið vel vatnslekar eins og bólstraberg og hraunlög, bæði gjallkargi á yfirborði þeirra og kælisprungur, svo og maskað berg á jöðrum innskota. Í megineldstöðvum virðast innskot vera mjög algeng og lekt í þeim því á heildina litið tiltölulega léleg. Ef holur eru boraðar nálægt jöðrum háhitasvæða, einkum í sprungustefnu, er hætta á köldu írennsli veruleg með neikvæðum áhrifum á svæði í vinnslu.

2. MAT Á STÆRD AUÐLINDAR

Stærð háhitaauðlindarinnar á Íslandi hefur verið endurmetin nýlega (Jónas Ketilsson o.fl., 2009) og studdist Faghópur IV við þá niðurstöðu. Niðurstaðan var sú að samanlagt rafafl háhitasvæðanna væri 4255 MW_e (miðgildi) miðað við 50 ára endingartíma sem er 30% aukning frá fyrra mati Guðmundar Pálmasonar o.fl. (1985), en í ljósi óvissu gæti það legið á bilinu frá 2409 MW_e til 7659 MW_e. Mat Jónasar Ketilssonar o.fl. (2009) var byggt á umfangsmiklum viðnámsmælingum en þær gefa hugmynd um flatarmál svæðanna. Samkvæmt þessu mati er heildarflatarmál þeirra svæða sem tekin voru inn í matið 851 km². Þetta er mun hærri tala en í matinu frá 1985 sem var 473 km². Hins vegar gerði hið síðara mat ráð fyrir minni aflgetu á hvern ferkílómetra háhitasvæðis en hið eldra mat.

Í skýrslu Orkustofnunar um ítarlegt mat hennar á jarðavarma (Guðmundur Pálmason o.fl., 1985) segir orðrétt:

Þetta mat er heildarmat, landsmat, á jarðvarma, sem þýðir að gengið hefur verið út frá afar einföldum forsendum og alhæfingum við alla útreikninga, sem matið byggir á.

Ennfremur segir í ágrípi skýrslunnar:

Heildarmagn jarðvarma, jarðvarmaforði berggrunnins, frá yfirborði og niður á 10 km dýpi er $1,2 \cdot 10^{24}$ J (júl). Sá hluti þessa jarðvarma sem er ofan 3ja km dýpis, aðgengilegur jarðvarmaforði berggrunnins, er um $0,1 \cdot 10^{24}$ J. Af öllum þessum jarðvarma er talið að ná megi um $3,5 \cdot 10^{21}$ J upp um borholur. Þessi varmi er nefndur tæknilega vinnanlegur jarðvarmi.

Þá kemur fram í skýrslunni að aðgengilegur varmaforði í háhitakerfum umfram 130°C sé $0,5 \cdot 10^{21}$ J og að tæknilega vinnanlegur jarðvarmi við holutopp sé $0,07 \cdot 10^{21}$ J. Ef þessari síðustu tölu um orku er breytt í rafafl og gert ráð fyrir ákveðinni nýtni varmans fæst að unnt sé að framleiða alls um 3500 MW_e rafafls í 50 ár með jarðgufu og hefur þá háhitasvæðum undir jökli verið sleppt.

Að því er næst verður komist er viðmiðið 3ja km dýpi ekki byggt á jarðfræðilegum upplýsingum um eðli háhitasvæða heldur á því hversu djúpt stærsti jarðbor á Íslandi á þeim tíma gat borað.

Bæði mötin áætla orkuforða í háhitakerfunum sem síðan er breytt yfir í rafafl miðað við valinn endingartíma. Þetta felur í raun í sér að litið sé á háhitasvæðin sem endanlega orkulind, ekki endurnýjanlega. Um þetta atriði er sérstaklega fjallað í næsta kafla.

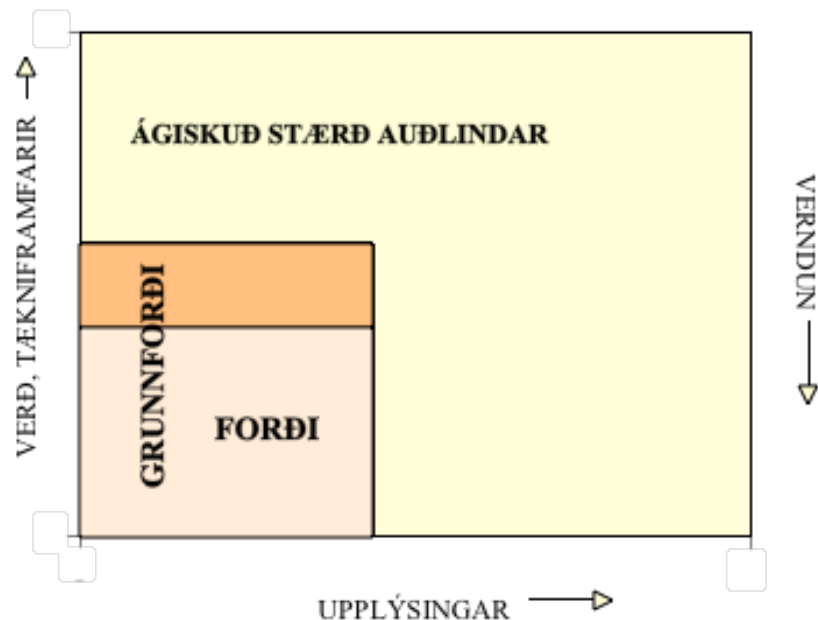
Eins og fram kemur í Jarðhitabók Guðmundar Pálmasonar (2005), en hann er jafnframt fyrsti höfundur ofangreindrar skýrslu Orkustofnunar frá 1985, segir matið á varmaorku í háhitasvæðunum ekkert til um aflgetu þeirra. Talan 3500 MW_e, eins og hún er skilin hér, þjónar aðeins því hlutverki að breyta illskiljanlegri orkutölu, $0,07 \cdot 10^{21}$ J, yfir í skiljanlega tölu rafafls, 3500 MW_e. Í þessu samhengi þykir rétt að vitna í Jarðhitabók Guðmundar Pálmasonar (2005):

Það er lífseigur misskilningur að jarðvarmamat með ofangreindri aðferð segi til um afl jarðhitasvæða. Eðli aðferðarinnar er slíkt að hún getur ekkert um aflið sagt ...

Matið frá 1985 og eins hið síðara mat frá 2009, byggir á almennum forsendum. Í hvorugri skýrslunni er tekið mið af breytilegri jarðfræðilegri byggingu einstakra háhitasvæða og ekki heldur legu þeirra innan gosbeltanna eða súrum vökva eða miklu gasi í gufu. Allir þessir þættir fela í sér að ekki má taka tölur um aflgetu einstakra svæða í tiltekinn tíma bókstaflega heldur ber að líta svo á að matið bendi eindregið til þess að háhitalindin sé stór orkulind, a.m.k. miðað við fólksfjölda Íslendinga, og í ljósi þess væri eðlilegt að stjórnvöld mótuðu stefnu um hvernig mætti stuðla að nýtingu þessarar auðlindar. Raunar hafa núverandi stjórnvöld þegar gert það í stjórnarsáttmála sínum, að minnsta kosti að hluta, en þar segir að

nýtingin skuli vera sem sjálfbærust og sem umhverfisvænst. Eðlileg viðbrögð stjórnvalda við matinu frá 1985 og 2009 væru að stuðla að útvegum fjár til að byggja upp þekkingu á eðli þeirrar auðlindar sem háhitinn er. En reynslan varð önnur; ríkisvaldið hóf þegar á árinu 1986 að draga úr fjárveitingum til grunnrannsókna á jarðhitaauðlindinni og nú er svo komið að ríkissjóður ver sáralitlu fé til þessa málaflokks, aðeins til tiltekinna verkefna, en stærstur hluti verkefna er unninn fyrir framlag orkufyrirtækja. Með þessum breytingum hefur rannsóknarstarfsemin dreifst og þekkingarleg hefð ekki byggst upp sem skyldi. Of stór hluti fjárframlaga er eyrnamerkur (e. restricted) og um leið of lítill hluti frjáls (e. unrestricted). Sýn höfundar er sú að mannaflaskortur sé framundan í jarðhitageiranum á sviði jarðvísinda, sérstaklega fyrir grunnrannsóknir á eðli auðlindarinnar en lítið virðist gert til að taka á þeim vanda.

Algennt er að meta stærð auðlinda í jörðu (resource size) eins og málmsteinda og annarra steinefnasetlaga en jafnframt er aflað upplýsinga um forða (reserve) og grunnforða (reserve base) tiltekinna nytjasteinda. Í riti Bandarísku jarðfræðistofnunarinnar (U. S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2010, bls. 189-191, sjá viðauka aftast í þessari skýrslu) er að finna skilgreiningar á þessum hugtökum. Þannig merkir stærð auðlindar ágiskaða stærð, forði er það magn sem þekkt er, í hendi ef svo mætti segja, og hagkvæmt er að nýta. Grunnforði er einnig þekkt stærð en vinnsla miðað við gildandi verðlag er óhagkvæm fyrir hluta auðlindarinnar (mynd 5). Rétt er að líta á mat á stærð þeirrar orkulindar sem háhitinn er sem faglega ágiskun. Hugsanlega voru ákvarðanir um stærð jarðgufuvirkjana á Hellisheiði og Reykjanesi miðaðar við ágiskaða stærð (orkuforða) orkulindanna þar. Ef svo er hafa óbeinar upplýsingar um auðlind verið taldar jafngilda beinum upplýsingum. Um leið væri vikið frá hefðbundnu verklagi við undirbúning að vinnslu, sbr. kafla 5. Eðlilegra væri að ákvarðanir um jarðgufuvirkjanir eða aðra nýtingu jarðhita byggðu á borholugögnum. Á mynd 5 eru hugtökin forði, grunnforði og stærð auðlindar skýrð nánar.



Mynd 5. Vensl milli hugtaka sem lýsa hvar vitneskja um tiltekna auðlind í jörðu stendur. Forði (reserve): Þekkt auðlind sem hagkvæmt er að nýta. Grunnforði (reserve base). Þekkt auðlind, en einungis er hagkvæmt að nýta hluta hennar vegna verðlags. Ágiskuð stærð auðlindar (inferred resource): Byggir á vísbendingum og almennum upplýsingum en ekki beinum mælingum.

3. ENDURNÝJANLEGAR OG ENDANLEGAR ORKULINDIR

3.1 Inngangur

Orkulindum jarðar hefur verið skipt í tvo flokka, endurnýjanlegar og endanlegar (einnig nefndar óendurnýjanlegar). *Endurnýjanlegar orkulindir endurnýjast jafnhvort eða hraðar en úr þeim er tekið. Endanlegar orkulindir eyðast eftir því sem af þeim er tekið.* Það sem réttlætir þessa tvískiptu flokkun er að flestar þær orkulindir sem jarðarbúar nýta falla vel undir hana. Sumar þessara orkulinda endurnýja sig mjög hægt, á milljónum eða tugmilljónum ára, jafnvel lengri tíma, en aðrar mjög hratt, sumar á fáum klukkustundum eins og bein sólarorka eða vindurinn. Enn aðrar orkulindir endurnýja sig á áratugum eða árþúsundum eins og viður og mór. Tvískipting orkulinda er því ekki annað en nálgun og vafalítið til orðin vegna sívaxandi vinnslu jarðefnaeldsneytis, en endurnýjun þess tekur tugmilljónir ára og lengur og útlit er fyrir að þessi orkulind verði upp urin eftir eina til tvær aldir eða svo. Þetta kallar á þróun í átt til nýtingar á endurnýjanlegum orkulindum.

Það sem nú virðist vera enn meira áhyggjuefni á heimsvísu en tæming endanlegra orkulinda eru umhverfisáhrif af brennslu jarðefnaeldsneytis, bæði afleiðingar hnattrænnar hlýnunar og súrnun sjávar. Af þessum sökum er nú lögð mikil áhersla á það innan Evrópusambandsins og miklu víðar að nýta aðra orkugjafa en jarðefnaeldsneyti, bæði hefðbundna og nýja, þar á meðal jarðhitakerfi eins og þau sem á Íslandi eru en slík jarðhitakerfi eru af þeirri gerð sem nefna má heitavatnskerfi (e. hydrothermal systems). Einnig er lögð áhersla á að þróa tækni til að nýta jarðvarma í heitu, þurru bergi - ekki vatnsleiðandi (e. hot dry rock). Þá hefur áhugi aukist á byggingu kjarnorkuvera til rafmagnsframleiðslu þótt hörmungarnar í Japan í mars á þessu ári geti sett strik í reikninginn. Frá 2005 hefur verið hafist handa við byggingu um 55 nýrra kjarnorkuvera í veröldinni (IAEA, 2010) með 1000 MW uppsett rafafli hvert (Survey of Energy Resources, 2010). Aukningin er mest í Asíu. Undanfarna áratugi hefur líka verið lögð rík áhersla á að beisla vindorku til raforkuframleiðslu. Frá 1990 hefur uppsett afl vindorkuvera tvöfaldast á þriggja og hálfis árs fresti. Árið 2010 var uppsett afl vindorkuvera alls um 150.000 MW (Survey of Energy Resources, 2010). Fleiri dæmi mætti nefna eins og ræktun repju til olíuframleiðslu fyrir dísilvélar.

Hvort, eða að hve miklu leyti, orkulind er endurnýjanleg á tilteknum tímaskala höfðar til eðlis auðlindarinnar þótt umfang vinnslu hljóti óhjákvæmilega einnig að koma inn í myndina. Með sanni má segja að jarðhitakerfi séu endurnýjanleg orkulind ef nýtingin felur í sér að beisla sjálfrennsli úr laugum eða hverum því slík nýting gengur ekki á auðlindina. Öðru máli gegnir um nýtingu í stórum stíl. Síðar í þessum kafla er sýnt fram á að slík nýting felur í sér varmatöku úr jarðhitakerfum langt umfram náttúrulegt varmatap og ekki verður séð að nýtingin örvi varmaflæði í svæðið. Fyrir slíka nýtingu ber að líta á einstök jarðhitakerfi sem varmanámur sérstaklega þegar um er að ræða lághitakerfi og háhitakerfi sem eru ekki með kvikuvarmagjafa. Þessar niðurstöður eru í samræmi við Guðmund Pálmason (2005), Mannington o.fl. (2004) og Glover og Mroczek (2009).

3.2 Varmaorka jarðar og jarðhitakerfa

Varmaorka jarðar (geothermal energy) á rót sína að rekja til niðurbrots geislavirkra efna í jörðinni, aðallega úrans, þóríums og kalíums. Varmaflæðið út um yfirborð jarðar nemur 41.000 GW samkvæmt Pollack o.fl. (1993) en nýrri athuganir gefa bæði lægri og hærri gildi, 31.000 GW (Hofmeister og Criss, 2005) og 47.000 GW (Davis og Davis, 2010). Svarar þetta flæði til þess varma sem verður til við niðurbrot hinna geislavirku efna.

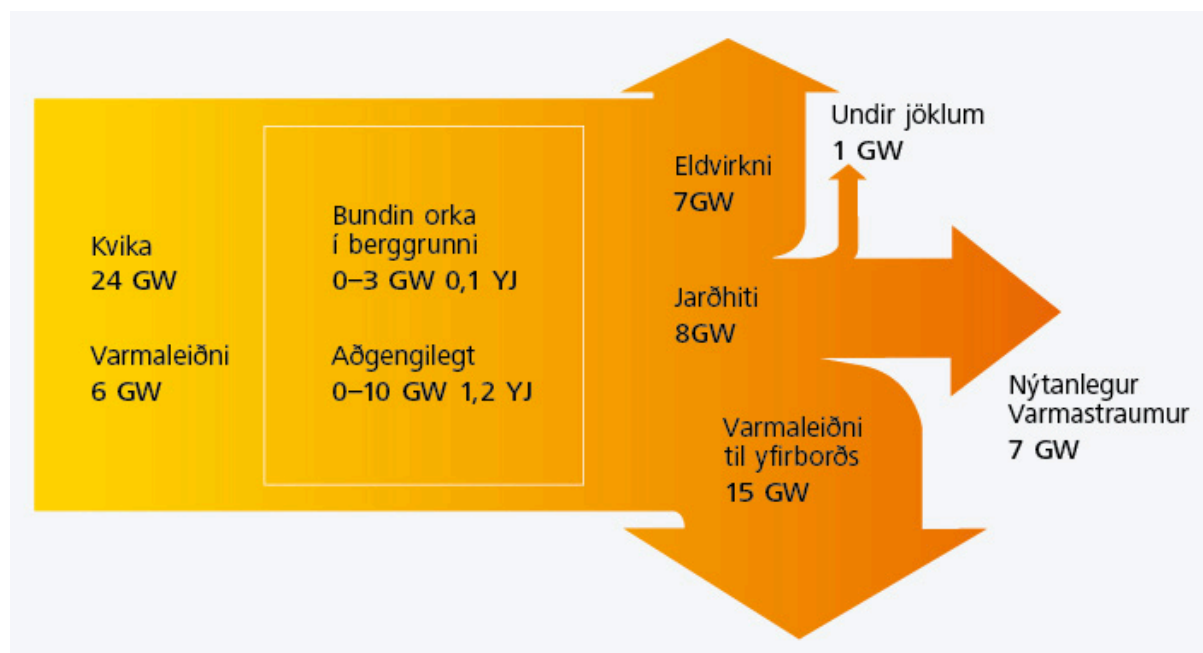
Í jarðskorpunni er varmaorkuforðinn gífurlegur, $5,4 \cdot 10^{24}$ MJ ofan 10 km dýpis (Survey of Energy Resources, 2010). Aðeins mjög lítill hluti þessa varma er þó tæknilega nýtanlegur. Eingöngu við tiltekna jarðfræðilegar aðstæður er það gerlegt, nefnilega þar sem berg er lekt og vatn og/eða gufa flytja varmann til yfirborðs, í svokölluðum heitavatnskerfum¹ en jarðhitakerfi á Íslandi eru einmitt af þeirri gerð. Þessi kerfi eru því auðlind (e. geothermal resource²). Langstærsti hluti varmaorku jarðar er hins vegar í heitu, þurru þ.e. þéttu bergi. Nokkur tilraunaverkefni eru nú í gangi og talsvert rannsóknafé mun nú lagt í að þróa tækni til að gera þennan varma nýtanlegan en meðan tæknin er ekki fyrir hendi er þessi varmalind ekki auðlind. Takist það hins vegar með framförum í tækni að nýta þennan varma hefur varmaauðlind jarðar stækkað gífurlega (sjá mynd 5) og væri nánast óþrjótandi.

3.3 Endurnýjanleiki jarðhitakerfa

Hjá Evrópusambandinu er jarðvarmaorka (geothermal energy) flokkuð sem endurnýjanleg orkulind (European Union, 2009) og orðið skilgreint þannig:

.. energy stored in the form of heat beneath the surface of the solid earth.

Hæpið þykir að þýða orðið “geothermal energy” yfir á íslensku með orðinu jarðhiti eða jarðhitasvæði. Síðari tvö orðin eru jafnan notuð um hita á yfirborði jarðar eins og laugar og hverir og um *heitavatnskerfi* í jörðu, þ.e.a.s. jarðhitakerfi af tiltekinni gerð (e. hydrothermal system). Geothermal energy eins og það er skilgreint hjá Evrópusambandinu er vissulega endurnýjanleg orkulind. Orðið þýðir varmaorka jarðar og eins og áður hefur komið fram



Mynd 6. Orkubúskapur jarðskorpunnar undir Íslandi. Lengst til vinstri er sýnt varmaflæði úr möttli upp í jarðskorpuna með kviku annars vegar (24 GW) og með varmaleiðingu (leiðni) hins vegar (6 GW). Í miðjunni er sýndur varmaforði í berggrunni, annars vegar niður á 3ja km dýpi og hins vegar niður á 10 km. Lengst til hægri er svo sýnt áætlað flæði upp í gegnum jarðskorpuna. Þessar tölur eru ekki vel þekktar nema e.t.v. sú neðsta um varmaleiðingu. Fyrir jarðhitakerfi (jarðhita á myndinni) og eldvirkni hljóta tölurnar á hverjum stað að vera meðaltal yfir alllangt tímabil. Byggt á mynd í grein Stefáns Arnórssonar o.fl. (2008).

¹ Íslenskt orð er ekki til sem svarar til hugtaksins “hydrothermal system”. Hér hefur þessu enska orði verið snarað yfir á íslensku með beinni þýðingu í heitavatnskerfi.

² Orðið resource er notað hér í þeirri merkingu sem það er skilgreint af Bandarísku jarðfræðistofnuninni (sjá viðauka í þessari skýrslu).

endurnýjast hún sífellt með niðurbroti geislavirkra efna sem í jörðinni er að finna, eða sem nemur 31.000-47.000 GW þótt þessi endurnýjun sé vissulega mjög hæg.

Í Survey of Energy Resources (2010), bls. 462 stendur orðrétt (í þýðingu höfundar):

Jarðvarmaorka er yfirleitt flokkuð sem endurnýjanleg auðlind þar sem “endurnýjanleg” lýsir einkennum auðlindarinnar: Orkan sem tekin er úr auðlindinni endurnýjast stöðugt á tímaskala svipuðum þeim sem orkuvinnslan nær yfir.

og er vitnað í Valgarð Stefánsson (2000) í þessu sambandi. Mynd 6 lýsir orkubúskap jarðskorpunnar undir Íslandi. Hún er nýrri útgáfa myndar úr umræddri grein eftir Valgarð Stefánsson (2000) en umrætt mat á orkubúskap byggir á grein eftir Gunnar Böðvarsson (1982). Meginniðurstaðan sem fram kemur á mynd 6 er að nýtanlegur varmastraumur nemi 7 GW. Þessi tala segir þó ekkert um hvar í íslenskum jarðhitakerfum þessi straumur (varmaflæði) er. Ennfremur hlýtur hann að vera meðaltal yfir tiltekið tímabil á hverjum stað sem er mjög breytilegt. Til dæmis hefur gosið tvívegis í Öræfajökli frá því land byggðist en oft á öld í Grímsvötnum. Eftir fjölda innskota í fornum megineldstöðvum að dæma í og við háhitaummyndað berg er kvikuflæðið ekki stöðugt heldur tiltölulega sjaldgæfir atburðir alveg eins og eldgos. Því virðist ekki rökrétt að telja að meðalvarmaflæðið endurspegli stöðuga endurnýjun varma í einstökum jarðhitakerfum. Tími milli endurnýjunar varma með kviku getur hæglega náð yfir margar aldir eða lengur en nemur endingu einstakra jarðhitakerfa miðað við sjálfbæra þróun (100-300 ár, sjá Jónas Ketilsson o.fl., 2009).

Í Jarðhitabók sinni færir Guðmundur Pálmason (2005) sterk rök fyrir því að einstök jarðhitakerfi séu varmanámur, að nánast ekkert muni um endurnýjun varmans miðað við þann varma sem úr svæðunum er tekinn umfram náttúrulegt varmatap, jafnvel þótt nýtingin sé ekki mikil.

Á Goldschmidt ráðstefnunni í Knoxville í Tennessee í Bandaríkjunum í júní 2010 sem höfundur sótti kom fram í erindi yfirmanns umhverfisverkefnis Stanfordháskóla að varmaflæði út úr jörðinni um yfirborðið sé endurnýjanleg orkulind en að einstök jarðhitakerfi séu varmanámur líkt og kolalög og olíulindir. Skilgreining Bandarísku jarðfræðistofnunarinnar er sú sama samkvæmt erindi dr. Lindu Gundersen eins af forstjórum stofnunarinnar sem einnig var haldið á nefndri ráðstefnu. Evrópusambandið tekur ekki afstöðu til þess í regluverki sínu hvort einstök jarðhitasvæði séu endurnýjanleg eða endanleg orkulind en ofangreind skilgreining Evrópusambandsins á “geothermal energy” verður ekki skilin á annan veg en þann að hún sé samhljóða skilgreiningu vestan hafs um varmaflæði.

Skilgreining aðila vestanhafs á einstökum jarðhitasvæðum miðar við tiltölulega umfangsmikla nýtingu. Ef nýting byggir á sjálfrennsli úr laugum og hverum, er jarðhitinn vissulega endurnýjanleg orkulind og ef nýting er í smáum stíl eins og víða gerist með lághita í dreifbýli á Íslandi má ljóst vera að varmanáman endist mjög lengi miðað við umfangsmikla nýtingu á sama svæði.

Höfundur telur rök Guðmundar Pálmasonar (2005) vel grunduð og fær ekki betur séð en rétt sé að líta á einstök jarðhitakerfi sem varmanámur ef nýting er umfangsmikil, þ.e. umtalsvert umfram náttúrulegt varmatap. Rök eru færð fyrir þessari niðurstöðu í kaflanum hér á eftir.

3.4 Varmagjafinn

3.4.1 Háhitakerfi

Eins og fjallað var um í kafla 1.3 eru innskot algeng í háhitakerfum, bæði þeim sem nú eru virk og eins í fornum kerfum sem finnast í teríerum og kvarterum berggrunni. Þessi innskot veita kerfunum varma, bæði með storknun kviku og síðari kælingu storkubergsins. Þeirri

hugmynd hefur verið varpað fram að þau efnahvörf sem leiða til ummyndunar bergs í háhitakerfum séu útvermin og bæti þannig varma við þessi kerfin. Athugun sýnir þó að lítið munar um þennan varma (Stefán Arnórsson, óbirtar athuganir). Háhitasvæði með kviku í rótum sínum fá að öllum líkindum engan varma með varmaleiðingu upp í gegnum jarðskorpuna því kvikan undir þeim er vafalítið heitari en bergið undir þessum kvikuinnskotum. Eins má búast við því að jarðhitakerfið sjálft sé heitara en það berg sem umlykur það til hliðanna og því á sér ekki stað nein varmaleiðing inn í kerfið frá hliðunum.

Eins og bent var á í kafla 1.2 eiga háhitasvæði sína sögu, upphaf, þróun og endi. Háhitakerfi sem myndast á flekamótum getur með tíð og tíma rekið frá þessum mótum og endanlega út úr gosbeltinu. Innskot kviku í efstu lög jarðskorpunnar þar sem berg er stökkt og lekt kemur upphitun af stað hræringu grunnvatns og leiðir með því til myndunar háhitakerfis. Hræringin veldur því að jarðhitavökvinn flytur varma upp í efri jarðlög og hitar þau upp. Þannig safnast upp varmi í jarðhitakerfum sem ættaður er frá kviku auk þess sem hluti varmans frá kvikunni tapast út í andrúmsloftið með gufu og heitu vatni og eitthvað með leiðingu. Vegna reks kerfisins út úr gosbeltinu kemur að því að það slitnar frá kviku-varmagjafanum. Þá má búast við því að við taki kólnun á því storkubergi sem myndaðist við kristöllum kvikunnar og enn er afbrigðilega heitt. Um leið dregur úr varmaflæði inn í kerfið. Það breytist smám saman í varmanámu sem kólnar niður, mest eftir því hversu mikið vatn flæðir um það.

Kvikufæði upp í rætur háhitakerfa leiðir til varmainnspýtingar. Vitað er að það getur valdið aukinni hveravirkni eins og átti sér stað, bæði í Kröflu á 18. öld (Ólafur Jónsson, 1945) og eins í Námafjalli í eldsumbrotunum 1975-84. Hins vegar er ekki víst að slíkt kvikufæði leiði til aukningar á uppsöfnun varma í bergi jarðhitakerfisins, a.m.k. ef hiti fylgir suðumarksferli með dýpi. Hins vegar gæti það aukið á gufumyndun. Nýrri kviku fylgir gas og jarðskjálftar þannig að áhrifin af innskoti nýrrar kviku eru bæði jákvæð og neikvæð.

Miðað við að náttúrulegt varmatap á Námafjallssvæðinu sé 300 MW skil ég niðurstöðu Valgarðs Stefánssonar (2000) sem greint var frá í kafla 3.3 svo að 300 MW varma streymi stöðugt inn í rætur svæðisins. Væri þar reist 90 MW_e jarðgufustöð sem starfrækt væri í 50 ár myndi varmataka úr kerfinu vegna vinnslunnar vera um 750 MW og væntanlega væri hún viðbót við náttúrulegt varmaflæði. Svæðið myndi tæplega jafna sig á 50 árum eftir hina auknu varmatöku, heldur á lengri tíma en 125 árum, og vafalítið mun lengri, því hvorki er við því að búast að varmaflæði vaxi inn í kerfið umfram náttúrulegt varmatap meðan á vinnslunni stendur né eftir að hún hefur verið stöðvuð. Eins er ekki við því að búast að náttúrulega varmaflæðið nýtist að öllu til að flytja varma í vatn og berg kerfisins sem kólnaði í kjölfar vinnslunnar. Þá ber að hafa í huga að eldsumbrot á Námafjallssvæðinu með innspýtingu á nýrri kviku verða líklega ekki oftár en á um 250 ára fresti. Þess utan segja almennar tölur um varmaflæði upp í jarðskorpuna undir Íslandi, sbr. mynd 6, ekkert til um slíkt flæði inn í jarðhitakerfið í Námafjalli á næstu áratugum ef ákveðið yrði fljótlega að virkja á svæðinu. Það sýnist því hæpið að líta á það sem almenna reglu að einstök háhitasvæði jafni sig á svipuðum tíma og vinnsla hefur staðið.

Náttúrulegt varmatap háhitasvæðisins á Reykjanesi er 130 MW (Þráinn Friðriksson o.fl., 2006). Þetta varmaflæði svarar til 100 L/s rennslis af 300°C vatni. Það svæði sem mælt varmatap náði yfir er um 2 km². Hið mikla varmaflæði verður naumast skýrt nema með varmaflæði frá kviku gegnum þunnt lag af bergi (50-100 m) milli kvikunnar og botns á hræringu sjávar í kerfinu (sjá Helgi Björnsson o.fl., 1982; Stefán Arnórsson o.fl., 2007). Núverandi varmataka úr svæðinu fyrir 100 MW jarðgufuvirkjun nemur meira en um 1000 MW varma. Þessi tala svarar til varmaflæðis gegnum jarðskorpuna með leiðingu yfir svæði sem er svipað að flatarmáli og Vatnajökull. Því ber að líta á nýtingu úr svæðinu sem

varmanám því flæði varma með leiðingu í svæðið er ekkert þar sem kerfið er heitara en umlykjandi berg og ekki getur talist líklegt að nýtingin örvi varmaflæði með kvikustreymi úr möttli inn í rætur jarðhitakerfisins. Reykjanessvæðið er hér valið sem dæmi um háhitasvæði í nýtingu vegna þess að nákvæmar upplýsingar liggja fyrir um náttúrulegt varmastreymi úr svæðinu áður en vinnsla hófst.

Háhitakerfi með kviku-varmagjafa gætu enst lengi þrátt fyrir ákafa nýtingu ef hún flýtti fyrir storknun kvikunnar líkt og átti sér stað þegar sjó var dælt á hraunið sem rann úr Eldfelli í Vestmannaeyjum árið 1973 (sjá Valdimar K. Jónsson og Matthías Mattíasson, 1974). Ending jarðhitakerfisins færi eftir því hvað kvikuhólfíð væri stórt. Á þetta er bent hér þótt ekki sé vitað hvort þessar hugrenningar reynist raunverulegar. Hitt virðist þó líklegt að ágeng nýting sem flýtir þannig fyrir storknun kviku í rótum jarðhitakerfis gæti leitt til þess að kerfið liði undir lok. Önnur hugmynd sem byggir á nokkrum gögnum, m.a. frá Kröflu og Hellisheiði, og ástæða er að þróa frekar til að auka skilning á háhitakerfum og vinnslueiginleikum þeirra er að gufupúði myndast neðst í þeim yfir varmagjafanum og að uppstreymi þessarar gufu flytji með sér varma upp í það grunnvatn sem ofar liggur og hiti það þannig upp. Þetta gufuhitaða grunnvatn er jarðhitalindin. Gufan í gufupúðanum gæti myndað súrt vatn við þéttingu. Eins gæti jarðhitavatn næst gufupúðanum verið súrt og því tærandi.

Þrýstifall í háhitakerfum sem vinnsla orsakar getur örvað suðu í uppstreymisrásum og aukið þannig á gufuflæði til yfirborðs. Með þessu móti tapast varmi umfram náttúrulegt varmatap sem nýtist því ekki vinnslunni. Á lághitasvæðum er þetta með öðrum hætti. Þar leiðir vinnsla oft til þess að laugar og hverir þorna. Þetta dregur úr, stöðvar jafnvel að mestu leyti náttúrulegt afrennsli frá slíkum svæðum. Ef það gerist nýtist hið náttúrulega rennsli.

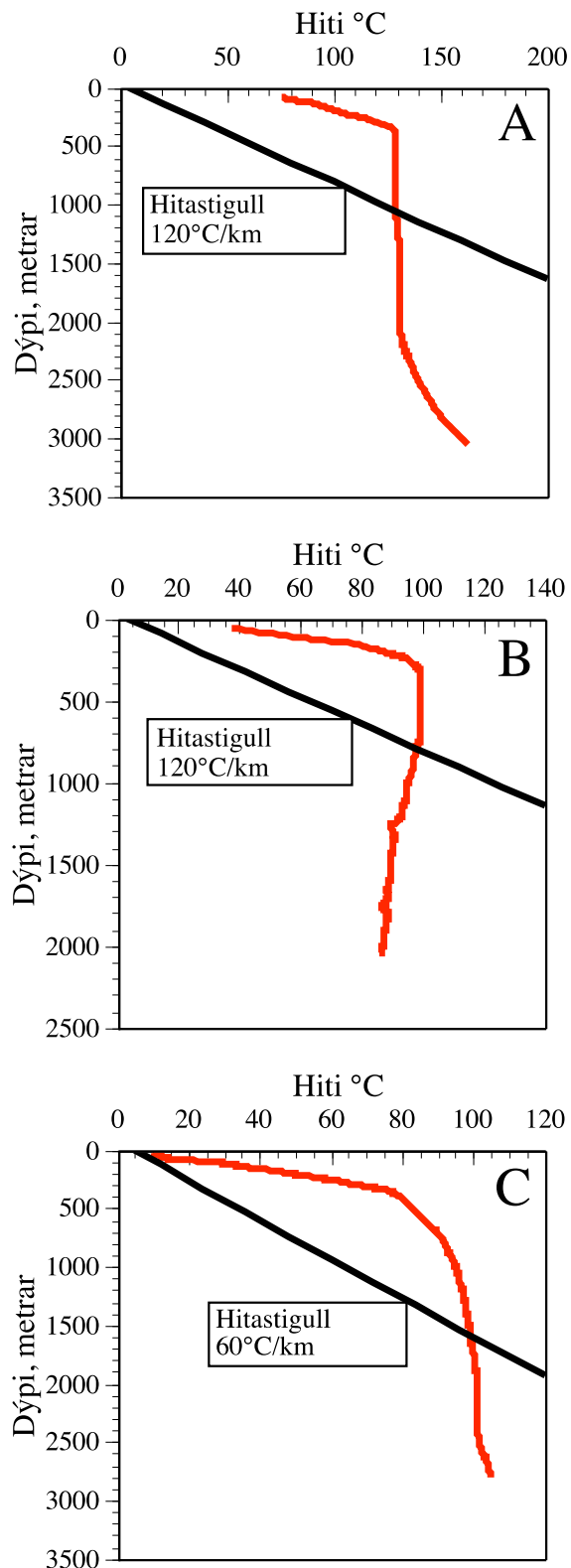
3.4.2 Lághitasvæði

Í djúpum borholum á nokkrum lághitasvæðum á Íslandi (Laugarnessvæðið í Reykjavík, Laugaland í Eyjafirði og Reykja- og Reykjahlíðarsvæðin í Mosfellsbæ) er hiti lægri djúpt niðri en vænta má út frá hitastigli í berggrunni í nágrenni þessara svæða (sbr. rauðu og svörtu ferlana á mynd 7). Segja má að rætur þessara kerfa séu kuldapollar. Þeir mynduðust við náttúruleg skilyrði áður en vinnsla hófst við það að kalt grunnvatn seig djúpt í jörðu og kældi bergið en hitnaði um leið. Upphitaða vatnið steig síðan upp vegna þess að það er eðlisléttara en kalt og hitaði upp efri jarðlög þannig að uppstreymið jafnaði út hitann í jarðhitakerfunum yfir allstórt dýptarbil. Ferlarnir á mynd 7 sýna að írennsli í jarðhitakerfin hlýtur að vera ofan frá og varmagjafinn er heitt berg í rótum þeirra (Sveinbjörn Björnsson, 1980).

Náttúrulegt rennsli úr laugum á Laugarnessvæðinu var um 11 L/s af 89° heitu vatni (Barth, 1950) áður en farið var að bora á svæðinu. Svarar það til orkuflæðis umfram 5°C sem nemur 3,05 MW. Þetta varmaflæði svarar til varmaflæðis með leiðingu upp í gegnum jarðskorpuna yfir 25,6 km² svæði og er þá miðað við að hitastigull sé 100°C/km. Nú mun dælt um 200 L/s af 130°C vatni úr Laugarnessvæðinu eða sem nemur 98,3 MW og jafngildir það varmaflæði með leiðingu upp í gegnum jarðskorpuna á 825 km². Af ofangreindum tölum má ljóst vera að sá varmi sem flæðir með leiðingu upp í gegnum jarðskorpuna inn í jarðhitakerfið er hverfandi miðað við varmatöku úr því. Sá varmi sem er nýttur og geymdur í berginu endurnýjar sig því á mjög löngum tíma. Laugarnessvæðið er þess vegna varmanáma af heitu bergi. Sama gildir um lághitasvæðin í Mosfellsbæ og inni í Eyjafirði, sbr. mynd 7.

3.5 Hræring og lekt

Bæði háhita- og lághitakerfi með hita yfir ~100°C og jafnvel með lægri hita eru svonefnd hræringarkerfi. Hiti í jarðskorpunni vex með dýpi og því býr grunnvatn við óstöðugt ástand, heitara og eðlisléttara vatn liggur undir kaldara og eðlisþyngra vatni. Hið djúpstæðara heita



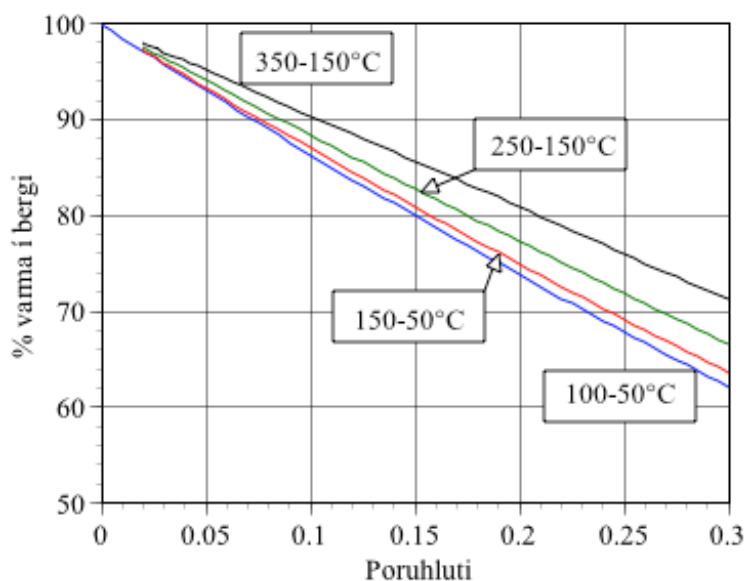
Mynd 7. Rauðir ferlar sýna hita í djúpum borholum á (A) Laugarnessvæði (Reykjavík), (B) í Mosfellsbæ og (C) að Laugalandi (Eyjafirði). Svarti ferillinn sýnir hitastigul í berggrunni utan svæðisins. Fyrir neðan 1000 m dýpi í Reykjavík er berghiti utan svæðisins hærri en í svæðinu sjálfu en ofan þessa dýpis er hann lægri. Hitaferillinn í jarðhitasvæðinu sýnir að varmanám (kæling) hefur átt sér stað djúpt í jarðhitakerfinu en uppsöfnun varma ofar í því. Þetta verður vegna uppstreymis á heitu vatni sem jafnar út hitann yfir tiltölulega stórt hitabil. Sams konar hitaferlar eru í djúpum borholum í Mosfellsbæ og í Eyjafirði. Varmagjafi jarðhitasvæðanna er heitt berg í rótum þeirra. Svæðin deyja smám saman út eftir því sem bergið í rótum þeirra kólnar. Írennsli í svæðin er ofan frá.

vatn stígur upp ef lekt er nægileg, en svonefnd Rayleigh-tala er mælikvarði á þá lágmarkslekt sem nauðsynleg er til að knýja hræringu grunnvatns vegna eðlisþyngdarmunar á misheitumgrunnvatnssúlum og mynda þannig hræringarkerfi (sjá t.d. Sveinbjörn Björnsson, 1980). Það liggur í hlutarins eðli að þessi jarðhitakerfi myndast þar sem lekt í berggrunni er best - þau eru lektarfrávik. Fjöldmörg dæmi má nefna þessu til stuðnings. Mjög mörg lághitasvæði tengjast sprungum í annars þéttari berggrunni eins og í Reykholtssdal í Borgarfirði og Mosfellsbæ, sums staðar í Skagafirði og miklu víðar. Á háhitasvæðum er lekt bergs best nálægt sprungum eins og í Kröflu (Hveragil) og á Hellisheiði. Hveragil er sprengigíggaröð á sprungu, líklega til orðin á síðjökultíma (Kristján Sæmundsson, 1991). Best lekt á Hellisheiði hefur fundist nálægt gossprungum sem eru 1800 og 5700 ára gamlar (Sinton o.fl., 2005). Af þessu er ályktað að írennsli í jarðhitakerfin hlýtur að vera tiltölulega mest eftir sprungum sem skera jarðhitakerfin og teygja sig út fyrir þau en einnig ofan frá um sprungurnar. Þessi ályktun felur í sér að varmi í bergi utan jarðhitakerfa nýtist ekki mikið til vinnslu.

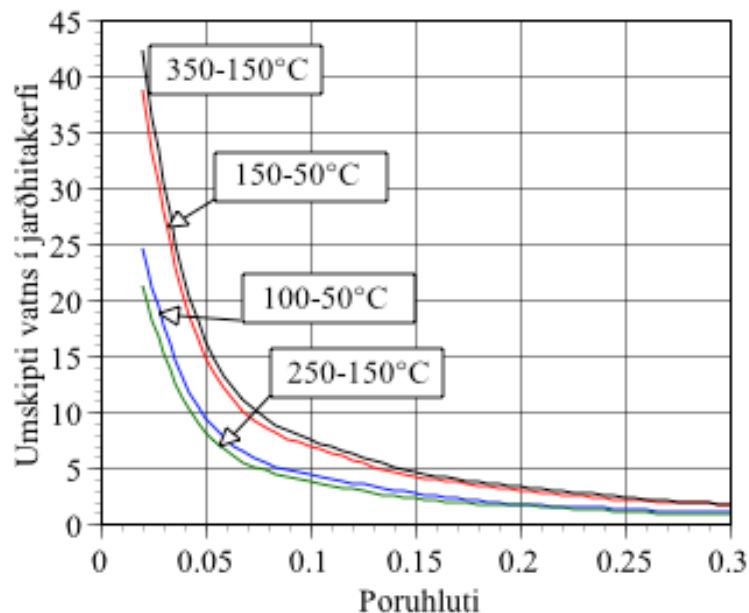
3.6 Varmanám úr bergi

Mynd 8 sýnir hversu stór hluti varma í jarðhitakerfi er í berginu eftir því hver poruhluti þess er. Dæmin sem sýnd eru á myndinni miða annars vegar við lághitakerfi og hins vegar við háhitakerfi. Tvö dæmi eru tekin sem svara til lághitakerfa þar sem upphaflegur hiti er 150°C og 100°C og gert ráð fyrir að kerfin verði ekki nýtt meira en niður í 50°C. Dæmin fyrir háhitakerfi eru einnig tvö og gera ráð fyrir 250°C og 350°C upphafshita og kælingu í 150°C. Eftir því sem hitinn er hærri verður hlutfallslega minni hluti varmans í vökvanum fyrir ákveðinn poruhluta. Ræðst það af því að eðlisrúmmál vatns vex með hækkandi hita en rúmmál bergs mjög lítið.

Porurými í bergi hefur verið mikið rannsakað, bæði með beinum mælingum og smásjárathugunum (Valgarður Stefánsson o.fl., 1997; Ómar Sigurðsson o.fl., 2000; Hjalti Franzson o.fl., 2010). Porurými fundið með mælingum er kerfisbundið herra en það sem byggir á smásjárskoðun, eða sem nemur 5-10% (Hjalti Franzson o.fl., 2010). Yfirleitt er lítill munur á samhangandi poruhluta (e. effective porosity) og heildarporuhluta (e. total porosity). Nokkur munur er á gaslekt annars vegar og vatnslekt hins vegar (Ómar Sigurðsson o.fl., 2000) en það gefur til kynna að sumar porur séu svo smáar að vatn nái ekki að flæða um þær.



Mynd 8. Bláa og rauða línan svara til jarðhitakerfa sem upphaflega eru 100° og 150°C heit og er reiknað með kælingu niður í 50°C. Græna og svarta línan svara til 250° og 350°C jarðhitakerfa sem kæld væru í 150°C.



Mynd 9. Vensl poruhluta við hversu oft má endurnýja heitt vatn í jarðhitakerfi með varmanámi úr berginu. Ferlarnir á myndinni hafa sömu merkingu og á mynd 8.

Í móbergi er poruhlutinn á bilinu 10-50% af rúmmáli (Hjalti Franzson o.fl., 2010). Í fornum megineldstöðvum er poruhlutur storkubergs á sama bili, þótt poruhlutur meirihluta sýna sé undir 0,2 (Hjalti Franzson o.fl., 1997, 2008). Ekki er mögulegt að gefa ákveðin viðmið um poruhluta bergs í virkum háhitakerfum en með samanburði við forn háhitasvæði má búast við að hann liggja oft á bilinu 10-20% en líklegast er hann þó lægri þar sem mikið er um innskot.

Mynd 9 sýnir hversu oft megi skipta um vatn í jarðhitakerfi miðað við að írennslið sé 5°C og að allt bergið nái að kólna jafnmikið og gert var ráð fyrir á mynd 8. Ef gert er ráð fyrir 10 og 20% poruhluta fyrir 250°C háhitasvæði má skipta um vatn 4 og 1,8 sinnum en 7,8 og 3,5 sinnum ef hitinn er 350°C. Sé gert ráð fyrir 10% poruhluta og 250°C dugir vökvinn í 1 km² vinnslusvæðis (1,5 km á þykkt) til að framleiða 15 MW_e rafafls í 25 ár. Tafla 1 sýnir endingartíma í árum sem fall af poruhluta bergsins og er þá miðað við að sá gufuhlutur sem myndast við þrýstifallssuðu fari minnkandi í rennsli eftir því sem bergið kólnar, þannig að í lokin sé hann helmingur upphaflegs gufuhluta. Tölurnar í töflu 1 ættu að skoðast sem fyrsta nálgun, enda byggðar á mjög einfölduðum forsendum og ekki er ljóst hversu mikinn hluta varmans reynist unnt að vinna úr berginu, þ.e. hver varmaheimtustuðullinn er. Ennfremur er það einföldun að gera ráð fyrir að gufluflæði minnki línulega með tíma eftir að búið er að skipta út upphaflegum vökva í kerfinu.

Ef eingöngu streymir vatn inn í borholur má mæla áhrif kælingar af köldu írennsli. Að öðrum kosti er hugsanlegt að meta hana með líkanreikningum en meðan þeir byggja ekki á fullnægjandi gögnum fylgir mikil óvissa slíku mati. Loks má greina kalt írennsli með notkun náttúrulegra kenniefna sem finnast í lágum styrk í köldu vatni en háum í jarðhitavatni (sjá mynd 10). Þessi jarðefnafræðilega aðferð ásamt hitamælingum er talin veita öruggastu vitneskju um kælingu í aðfærsluæðum borholna þótt báðum fylgi ýmsir annmarkar.

TAFLA 1. Endingartími háhitasvæða í árum sem miðar við að unnin sé gufa samsvarandi 15 MW_e úr hverjum km² vinnslusvæðis og að þykkt jarðhitalindar sé 1,5 km. Dálkar 2-3 eiga við kerfi sem upphaflega var 250°C og kælt niður í 150°C og samsvarandi fyrir dálka 4-5¹.

Poruhluti	250-150°C		350-150°C	
	Ending	Ending	Ending	Ending
	vökva	kerfis	vökva	kerfis
0,02	5	59	9	195
0,05	13	65	22	202
0,10	25	75	44	214
0,15	38	85	66	227
0,20	50	95	87	239
0,25	63	104	109	251
0,30	76	114	131	264

¹Gert er ráð fyrir að gufluflæði minnki með tíma og að það sé í lokin að meðaltali helmingur þess sem það var í upphafi.

4. SJÁLFBÆR ÞRÓUN

4.1 Viðhorf og skilgreiningar

Núverandi stjórnvöld hafa sett sér það markmið að umhverfisáhrif vegna framkvæmda á háhitasvæðum fyrir orkuvinnslu skuli vera í lágmarki. Ennfremur að tryggja skuli að nýting háhitalinda sé sem sjálfbærust, sbr. bréf frá iðnaðarráðuneytinu til formanns verkefnisstjórnar rammaáætlunar, Svanfríðar Jónasdóttur, dags. 18. október, 2007. Þetta er skilið á þann veg að ekki sé aðeins átt við auðlindina sjálfa heldur einnig hið ytra umhverfi.

Hugtakið sjálfbær þróun byggir á siðgæðisvitund núverandi kynslóðar gagnvart komandi kynslóðum og er fjallað um slíka þróun í skýrslu Sameinuðu þjóðanna “Our Common Future” sem unnin var af nefnd á vegum Sameinuðu þjóðanna og jafnan er kennd við formann hennar, Gro Harlem Brundtland fyrrverandi forsætisráðherra Noregs. Í þeirri skýrslu er hugtakið sjálfbær þróun skilgreint sem *framvinda sem fullnægir þörfum samtíðarinnar án þess að skerða möguleika komandi kynslóða til að fullnægja þörfum sínum*. Þegar um er að ræða nýtingu endanlegra orkulinda eins og háhitans er þessi skilgreining annmörkum háð. Að því kemur að endanleg auðlind sem er nýtt verður þurrausin. Ýmsar viðbætur við upphaflega skilgreiningu á sjálfbærri þróun hafa því verið settar fram (t.d. Dunstall, 1999). Guðmundur Pálmason (2005) hefur skilgreint sjálfbæra vinnslu orku úr jarðhitakerfum þannig að:

... vinnslunni þurfi að haga svo að hún skerði ekki fyrrsjáanlega getu komandi kynslóða til að nýta sér sömu orkulind ...

Orkustofnun og Íslenskar orkurannsóknir hafa sett fram skilgreiningu fyrir sjálfbæra nýtingu jarðhitakerfa. Hún byggir á því að grunnvatnsborð (þrýstingur) nái stöðugu gildi til langs tíma litið, varmaupptaka haldist stöðug og að svæðið endist í 100-300 ár. Við þessar aðstæður er írennsli í jarðhitakerfið jafnt því rennsli sem úr því er tekið vegna vinnslunnar. Þetta viðmið er eðlilegt fyrir skynsama nýtingu en það segir ekkert um það hversu hratt er gengið á orkuforðann í jarðhitakerfinu og það er einmitt orkuforðinn sem öllu máli skiptir til langs tíma litið. Tíminn 100-300 ár er vissulega langur. En erfiðleikinn við tímaviðmið af þessu tagi er e.t.v. fyrst og fremst sá að það er sértækt fyrir jarðhita fremur en almennt fyrir auðlindir í jörðu. Úran er mikilvægur orkugjafi fyrir kjarnorkuver. Forði úrans í veröldinni er háður verði eins og á við um aðrar auðlindir í jörðu. Tafla 2 sýnir forða úrans í þremur löndum miðað við verð, vinnslu árið 2008 og ágiskun um ófundnar úranjarðmyndanir. Í Bandaríkjunum er lítil úranvinnsla vegna þess að hagkvæmur forði er enginn. Í Brasilíu er lítil vinnsla þrátt fyrir allmikinn úranforða. Miðað við úranforða í þessum tveimur löndum og vinnslu árið 2008 endist hann lengi en af ólíkum ástæðum. Ýmsum gæti þótt það ruglingslegt að hafa ólíkar reglur um mat á endingu auðlinda í jörðu og þegar um jarðhitakerfi er að ræða er ekki vitað hversu lengi kerfið endist jafnvel þótt það hafi verið í vinnslu í áratugi hvað þá þegar ákvörðun er tekin um að virkja á nýju svæði.

Umræðan um sjálfbæra þróun og skilningur á því hvernig nýta skuli endanlegar auðlindir jarðar án þess að yfirgefa upphaflegan siðaboðskap hefur tekið talsverðum breytingum á undanförnum árum. Nú er litið svo á sjálfbæra þróun að hún þurfi ætíð að sameina þrjá þætti; hagkvæmni, félagsleg sjónarmið og eðli auðlinda. Stefnumörkun um nýtingu háhitasvæða þarf að taka mið af ofangreindum þáttum. Af félagslegum ástæðum ætti þéttbýli að hafa forgang að nýtingu háhitasvæða sem eru í nágrenni við þau vegna þess að reynslan hefur sýnt að jarðhitavatn til húshitunar er mjög hagkvæmt og skiptir máli fyrir lífskjör, skapar öryggi og stuðlar að stöðugleika, ekki síst í heimi orkuskorts. Fjölnýting háhita er æskilegri en nýting til raforkuframleiðslu eingöngu því með því móti er auðlindin betur nýtt auk þess sem slík nýting býður upp á atvinnutækifæri sem hafa þjóðhagslegan ávinning. Fjölnýting er helst möguleg

Tafla 2. Vinnsla og úranforði í nokkrum löndum, Úr Survey of Energy Resources (2010). Allar tölur eru í þúsundum tonna af úrani.

Land	Forði <40 US \$/kg U	Forði <260 US \$ /kg U	Ófundnar úran- námur	Vinnsla úrans 2008	Endingar- tími ár
Kanada	267,1	387,4	850	9,00	43
Bandaríkin	0,0	472,1	2.613	1,49	316
Brasilía	139,9	157,7	800	0,33	478

ef svæðin eru innan „atvinnufjarlægðar“ frá þéttbýli. Vissulega er það rétt að raforkuframleiðsla getur aflað mestra tekna fyrir orkuver en ekki dugir að líta einangrað á þennan þátt hagkvæmni í ljósi sjálfbærrar þróunar.

Eignarhald á háhitalindinni og hver nýtir hana hefur áhrif á hvernig arði er skipt. Það er stjórnvalda að móta reglur þar um. Þá hafa ákvarðanir um val á fyrirtæki til virkjunar áhrif á þekkingarstig og atvinnutækifæri tengd þessari auðlind á hinum örsmáa íslenska vinnumarkaði. Það er félagslegur þáttur sem huga þarf að. Loks ber að nefna að nýsköpunar er þörf til að auka möguleika á beinni nýtingu jarðvarma og jafnvel ýmissa efna í jarðhitavatni og jarðgufu. Virkjunarleyfi til raforkuframleiðslu eingöngu flytur þessa möguleika til virkjunaraðila eða leiðir til þess að þeim verður ekki sinnt.

4.2 Írennsli

Þeir tveir þættir sem ráða mestu um afkastagetu jarðhitakerfis fyrir utan stærð þess eru lekt bergsins og írennsli á köldu vatni sem kemur í staðinn fyrir þann heita vökva sem úr kerfinu er tekinn. Kalt írennsli leiðir til þess að bergið í jarðhitakerfinu kólnar um leið og vatnið hitnar og við það gengur á varmaforðann í orkulindinni. Engin tvö jarðhitakerfi eru eins. Bæði jarðfræðileg og grunnvatnsfræðileg bygging er mismunandi. Í sumum kerfum þarf litla lækkun á grunnvatnsborði (þrýstingi) til þess að örva verulega írennsli á köldu vatni. Á öðrum svæðum hefur kælingar ekki orðið vart þrátt fyrir mikla þrýstilækkun í jarðhitalindinni og áratuga vinnslu.

Mjög mikilvægt er að bæta vöktunarmælingar og þróa nýjar til að afla upplýsinga um varmanám úr jarðhitakerfum í vinnslu. Gögn sem fengjust með slíkum mælingum eru nauðsynleg ef reka á einstök jarðhitakerfi á forsendum sjálfbærni. Vegna mikilvægis vöktunarmælinga til að nema kalt írennsli er fjallað nokkuð ítarlega um þær hér á eftir.

Kalt grunnvatn hvort sem það streymir inn í háhita- eða lághitakerfi hitnar við rennsli gegnum heitt berg kerfisins. Nema mætti kælingu með beinni hitamælingu ef eingöngu vatn streymir inn í borholur en það er ekki gerlegt ef suða hefst í aðfærsluæðum. Við allar aðstæður má nota náttúruleg kenniefni eins og klóríð til að nema írennsli á köldu fersku vatni vegna þess að styrkur þessa efnis er lágur í köldu grunnvatni en jafnan mun hærri í jarðhitavatni. Þannig er lækkun á styrk klóríðs í borholuvatni vísbending um írennsli kalds grunnvatns. Ef írennsli í ferskvatnskerfi væri sjór eða sjávarblandað vatn leiddi það til aukningar á klóríðstyrk eins og átt hefur sér stað á hluta Laugarnessvæðisins í Reykjavík (sjá Stefán Arnórsson o.fl., 1992).

Oft lækkar styrkur klóríðs í jarðhitavatni án þess að kæling mælist, a.m.k.í uphafi. Þessi lækkun er forboði kælingar eins og sérstaklega er fjallað um hér að neðan fyrir lághitasvæðið við Selfoss sem kennt er við Laugardæli og Þorleifskot.

Kælingar á vatni sem dælt er úr borholum hefur orðið vart á nokkrum lághitasvæðum; Reykjum í Mosfellsbæ, Laugardælum/Þorleifskoti við Selfoss, Árbæ undir Ingólfsfjalli og Elliðaársvæðinu í Reykjavík. Á nefndum lághitasvæðum takmarkast vinnslugeta ekki við stöðugt grunnvatnsborð heldur áhrif írennslis af köldu grunnvatni á hitastig vatnsins sem úr holum er dælt.

Elliðaárkerfið liggur í tertíer berggrunni en Reykjavíkurgrágrýtið sem er miklu yngra liggur mislægt ofan á honum. Mikið grunnvatn er í Reykjavíkurgrágrýtinu sem streymir niður í sprungur jarðhitakerfisins þegar niðurdráttur verður vegna dælingar úr borholum (Stefán Arnórsson o.fl., 1992). Stöðugt vatnsborð næst eftir u.þ.b. viku dælingu. Eftir um það bil tveggja áratuga vinnslu með djúpdælum (um 1990) hafði jarðhitavatnið kólnað um nær 20°C. Breytingar á efnainnihaldi vatnsins sýndu að kælingin stafaði af blöndun kalds grunnvatns í jarðhitavatnið án þess að kalda grunnvatnið næði að hitna að ráði áður en það streymdi inn í borholur. Reynt var að koma í veg fyrir írennslis á köldu grunnvatni í borholur með því að setja dýpri fóðringar í þær en það skilaði ekki árangri. Ástæðan var sú að kalda grunnvatnið streymir niður um sprungur í berginu. Niðurstaðan var sú að æskilegt væri að minnka vatnstöku sem mest úr þessu svæði og nýta það aðeins í kuldaköstum á vetrum þegar mest þörf væri á heitu vatni til húshitunar (Stefán Arnórsson o.fl., 1992).

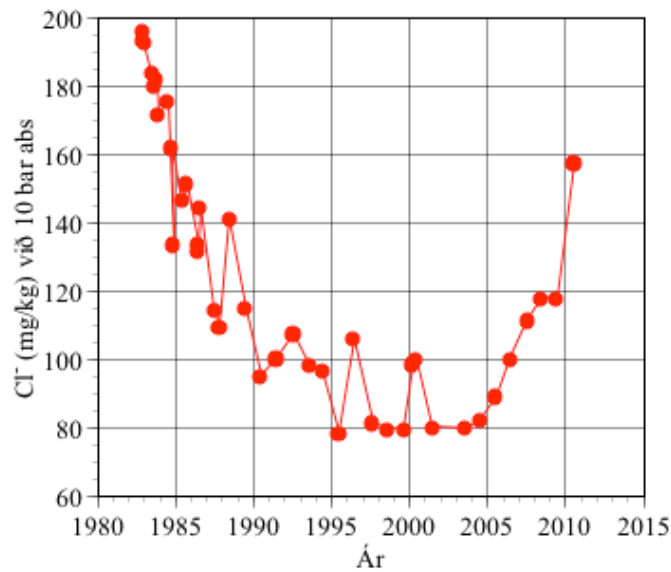
Í Laugardælum og við Þorleifskot rétt austan Selfoss hefur verið dregið úr áhrifum af köldu írennslis með því að bora dýpri holur, en þar hagar svo til að hið kalda vatn sem streymir í svæðið nær upphaflega að hitna verulega við streymi um heitt berg áður en það nær inn í borholur. Írennslíð þekkist á því að styrkur klóríðs í vatninu lækkaði. Það er fyrirboði kælingar (Jens Tómasson og Gísli Karel Halldórsson, 1981). Langlíklegast er að berg næst æðum kólni við hið kalda írennslis sem aftur hitnar sífellt minna eftir því sem tíminn líður.

Vestast á Reykjasvæðinu í Mosfellsbæ fannst mjög góð lekt um 1970 og voru boraðar nokkrar holur þar í hnapp. Fljótlega varð vart mikillar kælingar sem endaði með því að holurnar voru ekki nýtanlegar. Var steypt í þær til að koma í veg fyrir ákafalt kalt írennslis um þessar holur niður í jarðhitakerfið. Krisuvíkursprungureinin liggur frá Krisuvíkursvæðinu um Hjalla í Heiðmörk og Norðurholt norðaustur í Mosfellsbæ. Í sprungureininni er hitastigull nánast enginn sem bendir til mikils streymis á köldu grunnvatni til norðausturs út eftir sprungum reinarinnar. Talið er að hið ákafa írennslis kalds grunnvatns í Reykjakerfið í Mosfellsbæ sé um þessa sprungurein (Stefán Arnórsson o.fl., 1992).

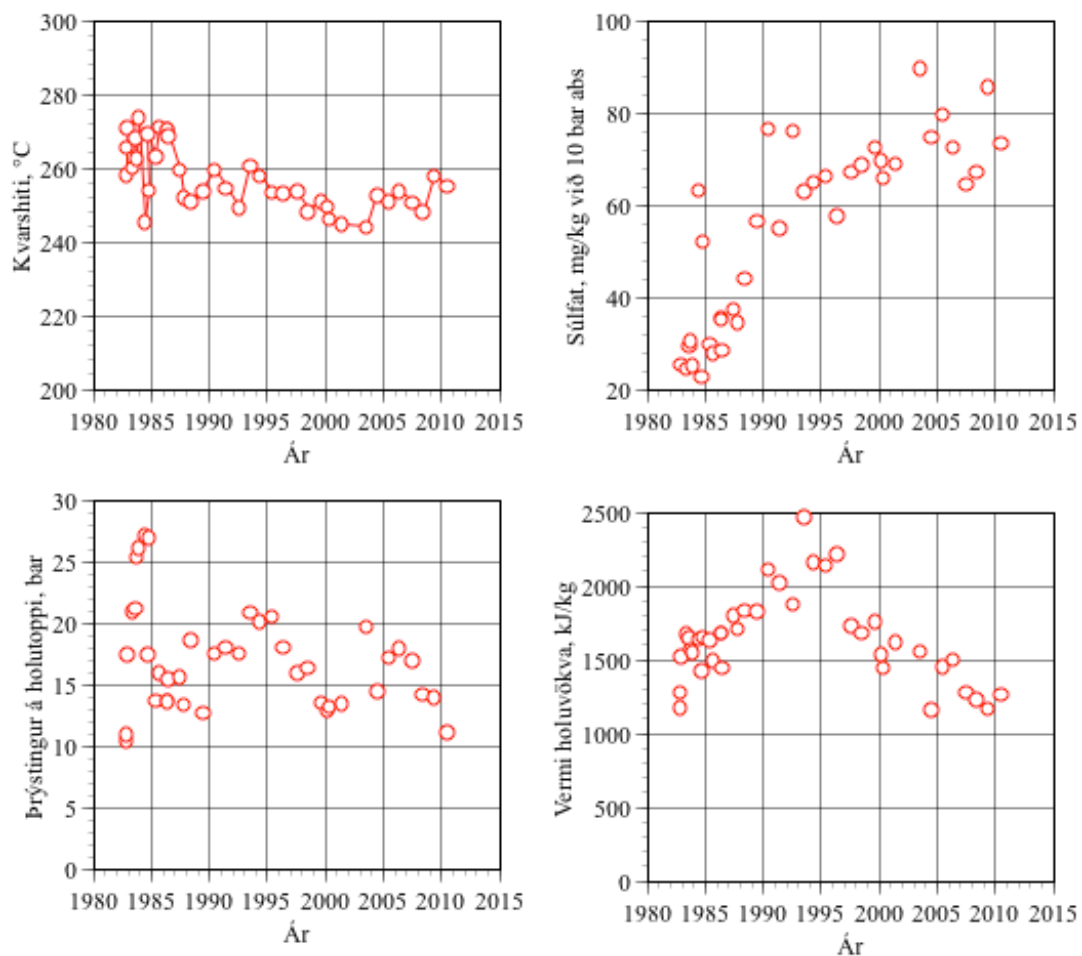
Ofangreind dæmi af lághitakerfum sýna að stöðug orkuupptaka úr kerfunum er ekki möguleg með umtalsverðum niðurdrætti. Vinnsla úr þessum kerfum takmarkast við kælingu á því vatni sem upp er dælt. Á öðrum lághitasvæðum er það írennslíð sjálft, þ.e. lekt bergsins sem er takmarkandi þáttur fyrir stöðugt grunnvatnsborð. Dæmi um slík svæði eru Reykjahlíð í Mosfellsbæ og lághitasvæðin í innanverðum Eyjafirði. Á þessum svæðum nær írennslisvatn að hitna áður en það streymir inn í borholur. Það gæti orsakast af því að borholurnar liggja ekki nærri jöðrum jarðhitakerfanna.

Í háhitakerfum þar sem vatn er sjóðandi er ekki mögulegt að mæla kælingu sem orsakast af köldu írennslis því hiti sjóðandi vatns ræðst af gufuþrýstingi. Í slíkum tilfellum verður að notfæra sér mælingar á lækku á styrk klóríðs í vatninu eða annarra náttúrlegra kenniefna. Þannig var verulegur hluti þess vatns sem streymdi úr einu vinnsluholunni í Hvíthólaklifi í Kröflu (hola 21) kringum síðustu aldamót kalt írennslis, allt upp í helmingur (Björn Guðmundsson og Stefán Arnórsson, 2002; Trausti Hauksson, pers. uppl.). Lækkunar á styrk klóríðs hefur orðið vart í fleiri holum.

Mynd 10 sýnir hvernig styrkur klóríðs í borholuvatni úr holu 21 í Kröflu hefur breyst með tímanum. Fyrstu árin lækkaði styrkur þessa efnis en varð síðan stöðugur fram til ársins 2005

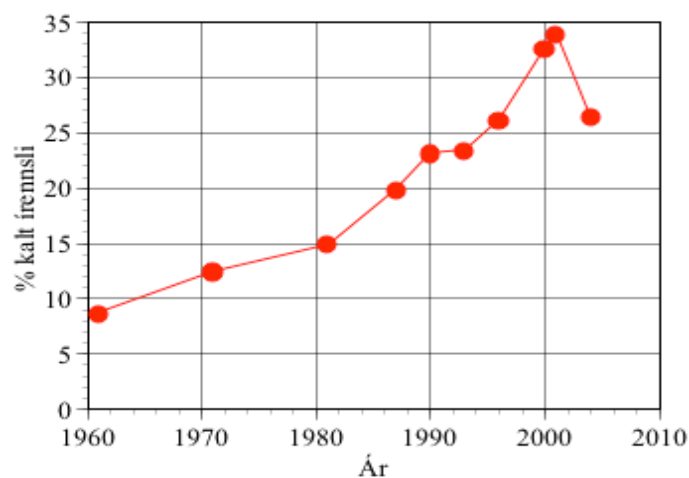


Mynd 10. Breyting á styrk klóríðs (Cl) í vatni í holu 21 í Kröflu. Lækkunin er merki um írennsli á köldu grunnvatni í aðfærsluæð holunnar. Rúmlega helmingslækkun á Cl fram til 2005 er vísbending um að írennsli á köldu grunnvatni í kjölfar vinnslu nemi rúmlega helmingi þess vökva sem streymdi úr holunni á tímabilinu 1995-2005. Eftir árið 2005 hefur styrkur klóríðs farið vaxandi.

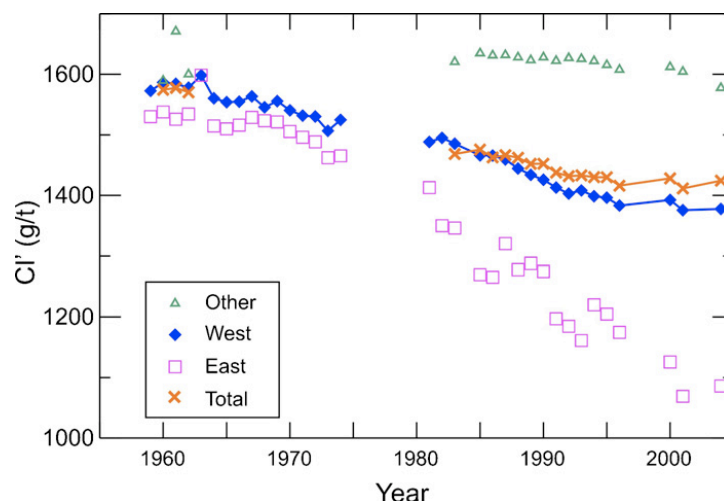


Mynd 11. Hóla 21 í Kröflu. A: Kvarshiti, B: Styrkur súlfats í vatni við 10 bar abs., C: Þrýstingur á holutoppi og D: Vermir holuvökva.

þegar hann tók að hækka aftur. Breytingar á kvarshita eru sambærilegar (mynd 11A). Þessi niðurstaða bendir til þess að upphaflega hafi kalt írennsli átt sér stað og nokkur kæling um leið en síðustu árin hafi hiti í aðfærsluæð holunnar hækkað nokkuð aftur. Kalda írennslisvatnið hefur náð að hitna upp að miklu leyti við rennsli um heitt berg jarðhitakerfisins og endurnýja efnavægi við kvars áður en það flæddi inn í borholuna. Hækkun á styrk súlfats er merki um kælingu á vatni í æð (mynd 11B). Gagnapunktarnir síðustu 5 árin sýna þó mikla dreifingu svo ekki verður ráðið í kerfisbundnar breytingar á súlfati á því tímaseiði. Þrýstingur á holutoppi hefur sveiflast óreglulega og eru orsakirnar óþekktar (mynd 11C). Í upphafi var vermi holuvökva nálægt vermi gufumettaðs vatns við hita í aðfærsluæð. Fram til 1995 hækkaði vermið stöðugt og nálgadist vermi mettaðar vatnsgufu, en hefur síðan lækkað og var árið 2010 það sama og í upphafi. Lækkun vermis er vísbending um kalt írennsli.



Mynd 12. Kalt írennsli í jarðhitakerfið í Wairakei frá upphafi vinnslu. Sú breyting sem varð árið 2000 til „lækkunar“ á köldu írennsli endurspeglar hækkun á klóríði. Hún orsakast líklegast af niðurdælingu á klóríðríku skiljuvatni en förgun skiljuvatns með niðurdælingu um borholur hófst 1996.



Mynd 13. Breytingar með tíma á meðalstyrk klóríðs (Cl^-) í djúpvatni á hinum ýmsu vinnslusvæðum á Wairakeisvæðinu á Nýja-Sjálandi. East: Austur borholusvæði, West: Vestur borholusvæði, Other: Aðallega Te Mihi svæðið, Total: allar holur sem safnað var úr. Úr grein eftir Glover og Mroszek (2009).

Jarðhitasvæðið í Wairakei á Nýja Sjálandi var tekið í notkun 1958. Vinnslusaga svæðisins er flókin. Um miðjan níunda áratuginn var hluti þáverandi borholusvæðis að nálgast endalok arðbærrar nýtingar vegna staðbundinnar kælingar en á öðrum hlutum svæðisins gekk gufuvinnsla vel (Bixley, 1986). Boranir á nýjum stöðum innan svæðisins hafa skilað góðum árangri. Vegna þrýstifalls hefur myndast gufupúði í jarðhitakerfinu og hefur reynst mjög arðbært að vinna gufu úr honum. Írennsli á köldu grunnvatni í svæðið er mikið eftir lækkun á styrk klóríðs í vatninu að dæma (myndir 12 og 13). Um 26% þess vökva sem streymdi frá vinnsluholum árið 1996 var kalt írennsli að uppruna (Glover og Bacon, 2000) en 33,9% árið 2001 (Glover og Mroczek, 2009). Árið 2004 hafði klóríð hækkað verulega frá 2001. Ekki er vitað með vissu hver orsökina er, en samkvæmt Glover og Mroczek (2009) kemur þrennt til greina: Tiltölulega meira rennsli frá borholum frá Te Mihi-svæðinu, írennsli úr dýpi jarðlögum og írennsli förgunarvatns í vinnsluholur. Síðasta skýringin virðist nærtækust þar sem niðurdæling skiljuvatns í kerfið hófst 1996. Styrkur kísils í borholuvatni hefur lækkað en það endurspeglar kælingu. Þannig svarar lækkunin til kælingar um tæpar 20°C á 50 ára tímabili (1960-2010) í holu WK-30 og er hún svipuð í mörgum öðrum holum (Glover og Mroczek, 2009). Mannington o.fl. (2004) hafa metið lækkun varmaorku í bergi og vökva í Wairakei-svæðinu með líkanreikningum fyrir breytilega niðurdælingu. Niðurstaða þeirra er sú að niðurdæling í borholusvæði stytta nýtanlegan ævitíma jarðhitakerfisins. Eftir um 100 ára vinnslu (til 2050) er niðurstaða þeirra sú að orkuforði umfram 180°C hafi lækkað úr 1600 PJ í 500-600 PJ, eða um 63-69%. Ítarlegar vöktunarmælingar á Wairakei-svæðinu í meira en hálfa öld sýna svo ekki verður um villst að nýtingunni hefur fylgt varmanám úr bergi. Líkanreikningar byggðir á þessum gögnum gefa til kynna að nýtileg varmaorka svæðisins til raforkuframleiðslu verði upp úr um 150 ára vinnslu.

5. AÐFERÐAFRÆÐI VIÐ UNDIRBÚNING AÐ NÝTINGU JARÐHITA

Þegar áformum um nýtingu auðlinda í jörðu eins og jarðhita er hrint í framkvæmd, er óvissa um árangur fyrir hendi vegna þess að upplýsingar skortir um eiginleika auðlindarinnar. Það útheimtir nokkurt áhættufé að afla þessara upplýsinga. Ákveðið verklag hefur verið þróað við undirbúning að nýtingu slíkra auðlinda. Rauði þráðurinn í verklaginu byggist á kostnaðarvitund og fagkunnáttu og felur í sér að lágmarka áhættu og kostnað en hámarka árangur. Ef varlega er farið, þarf oft ekki að bora nema fáar holur til að draga að mestu úr óvissu. Til að ná settu takmarki er undirbúningi skipt í áfanga og niðurstöður úr fyrri áfanga eru lagðar til grundvallar ákvörðun um hvort leggja skuli í næsta áfanga. Stór hluti kostnaðar við undirbúning að nýtingu liggur í borunum. Hámarks árangri felur því í sér að bora sem fæstar holur með sem minnstum tilkostnaði til að ná til yfirborðs tilskildu flæði af gufu og/eða vatni, ekki aðeins við upphaf vinnslu heldur yfir afskriftartíma virkjunar, jafnvel lengur. Borkostnaður fyrir gufuöflun vegna raforkuframleiðslu er umtalsverður hluti virkjunarkostnaðar, gjarnan 30-40% af heildarkostnaði, þó breytilegur eftir eiginleikum hvers svæðis. Til viðbótar nefndri hagkvæmninálgun hafa nú bæst við sjónarmið um umgengni við auðlind og hið ytra umhverfi. Þannig er jafnan að því stefnt að umhverfisáhrif nýtingar séu í lágmarki og að vinnslan uppfylli sem best skilyrði sjálfbærrar þróunar.

Þar sem talsverð fjárfesting liggur í borunum og óvissa er um vinnslugetu jarðhitakerfa til langtíma litið er það viðhorf orkufyrirtækja algengt að reisa virkjun á nýju svæði svo fljótt sem auðið er og eins litla og talist getur ásættanlegt frá sjónarhóli hagkvæmni. Með því móti fæst fjárfesting í borunum til baka eins fljótt og mögulegt er og með vöktunarmælingum koma viðbrögð jarðhitakerfis við vinnsluálagi í ljós. Þessi viðbrögð eru síðan lögð til grundvallar ákvörðun um stækkun virkjunar eða byggingu nýrrar á sama svæði.

Í námugeiranum er undirbúningi að vinnslu jarðefna gjarnan skipt í fjóra megináfanga sem lýsa því hvar verkið stendur miðað við jákvæða útkomu, sbr. feitlettruðu orðin aftast í hverri línu hér að neðan. Ensku orðin í sviga framan við örvarnar lýsa aðgerðum í hverjum áfanga. Skálettruðu íslensku orðin eru höfundar og eru þau þýðing á þeim ensku í svigunum:

- 1) *Steinefnaleit*³ (mineral prospecting) ⇒ *frávik (anomaly)*
- 2) *Ítarleg athugun á fráviki* (study of anomaly) ⇒ *vísbending um steinefnalög (indicated deposit)*
- 3) *Gildismat á steinefnalögum* (evaluation of deposit) ⇒ *þekkt steinefnamyndun (proven deposit)*
- 4) *Hagkvæmniathugun* (economic assessment) ⇒ *hagnýt steinefnanáma (economic deposit)*

Hér að neðan er helstu áföngum að virkjun háhitasvæða lýst og er miðað við tiltölulega stóra jarðgufuvirkjun (50-100 MW). Ekki eru til neinar algildar reglur um hvernig áfangaskiptingin skuli vera í smáatriðum. Sú áfangaskipting sem höfundur aðhyllist fyrir jarðhita er þessi:

1. *Jarðhitaleit* (geothermal surface exploration)
2. *Leitarboranir* (exploration drillings)
3. *Borun úthola* (drilling of step-out wells)
4. *Borun reynsluhola* (drilling of appraisal wells)
5. *Forhönnun og hagkvæmniathugun* (preliminary design, prefeasibility study)
6. *Ákvörðun um virkjun* (decision to erect a power plant).

³ Stundum nefnt jarðefnaleit.

Jarðhitaleit felur í sér tiltölulegar ódýrar mælingar á yfirborði sem veita *óbeinar upplýsingar* um stærð jarðhitasvæðis, hita í berggrunni og vatnslekar jarðmyndanir. Hinar óbeinu upplýsingar gætu leitt til þess að ákveðið væri að leggja ekki í leitarboranir. Séu þessar upplýsingar hins vegar metnar jákvæðar eru þær lagðar til grundvallar staðsetningu á leitarholu eða -holum. Þannig hefur jarðhitaleit tvíþætt hlutverk.

Boranir: Næsta stig er að afla beinna upplýsinga með borunum. Skili borun leitarholu árangri (e. discovery well), er næsta stig borun úthola. Slíkar holur eru gjarnan boraðar um kílómetra frá árangursríkri leitarholu þótt engar fastar reglur séu til um það. Að öðru jöfnu er rökréttast að staðsetja allar borholur innan tiltekins svæðis með hliðsjón af strúktúr-jarðfræði. Stefnan á að vera sú að allar boraðar holur séu hannaðar og staðsettar þannig að þær geti nýst sem vinnsluholur.

Tilgangurinn með borun úthola er að afmarka vinnslusvæði (e. wellfield). Skili þessar boranir tilætluðum árangri er næsti áfangi að bora reynsluholur (e. appraisal wells) innan þess svæðis sem afmarkað var með borun úthola. Eftir prófanir á öllum borholum og hermireikningum í kjölfarið fást fyrstu upplýsingar um afkastagetu vinnslusvæðis og þar með er lagður grunnur að ákvörðun um stærð virkjunar. Misjafnt er hvað talið er æskilegt að ná upp mikilli gufu/vökva áður en ákvörðun um virkjun er tekin. Á nýjum svæðum er talan gjarnan 80% en e.t.v. ekki meiri en 50% á jarðhitasvæðum sem eru tiltölulega vel þekkt. Eftir að ákvörðun um virkjun hefur verið tekin er borunum haldið áfram á vinnslusvæðinu uns nægileg gufa/vökvi hefur fengist og er þá gjarnan miðað við 10% umfram gufu/vökva vegna þess að gera verður ráð fyrir að rennsli úr borholum dali með tíma. Niðurstöður vöktunarmælinga eftir að virkjun hefur verið tekin í notkun eru nýttar til að uppfæra hermireikningana. Algenzt er að spá um vinnslugetuna 25-30 ár fram í tímann, eða sem svarar til eðlilegs afskriftartíma á mannvirkjum. Meðan vinnslusagan er stutt er spáin tiltölulega óviss en hún styrkist eftir því sem byggt er á lengri vinnslusögu.

Með ofangreindu verklagi ætti öllum að vera ljóst hvar verk fyrir undirbúning að vinnslu jarðhita stendur, jafnt jarðvísindamönnum, verkfræðingum, ráðamönnum fyrirtækis sem stjórnmalamönnum. Það er ótvíræður kostur auk þess sem verklagið lágmarkar áhættu.

Meðan ekki liggja fyrir gögn sem gera það kleift að meta afkastagetu vinnslusvæðis má miða við að vinna megi gufu sem nægir til framleiðslu á 15 MW rafafis á hvern ferkílómetra vinnslusvæðis. Hermireikningar leiða síðar í ljós hvort vinnslusvæðið stendur undir slíkri vinnslu eða meiru. Ef gert er ráð fyrir að þykkt jarðhitakerfis sé 1,5 km (500-2000 m dýpi), poruhluti 10% og hiti 250°C dugar vökvinn í hverjum km² svæðis til að framleiða 15 MW_e í 25 ár. Er þá miðað við að 2 kg/sek af gufuflæði þurfi til framleiðslu á 1 MW_e.

Mynsturlíkan (e. conceptual model)⁴: Mörg fræðasvið jarðvísinda tengjast vinnu við jarðhitaleit og síðari boranir, einkum grunnvatnsfræði, jarðeðlisfræði, jarðefnafræði og jarðfræði, auk verkfræði við hönnun borhola og framkvæmd borana. Eftir hvern undirbúningsáfangi að vinnslu þarf að draga saman allar niðurstöður jarðvísindalegra athugana og mælinga í heildstæða mynd af jarðhitalindinni. Takist það er sett fram mynsturlíkan af jarðhitakerfinu. Þetta líkan er síðan endurskoðað eftir því sem nýrra gagna er aflað. Eftirtaldir þættir mynsturlíkansins eru taldir mikilvægastir:

⁴ Orðið conceptual model hefur verið þýtt yfir á íslensku með hugmyndalíkan. Í orðabókum stendur að orðið concept í þeirri merkingu sem hér um ræðir þýði „skilningur á einhverju fyrirbæri sem hugurinn skapar með því að tengja saman alla eiginleika þess“, „setja eitthvað saman“ (þýð. höfundar). Hér er notað orðið mynsturlíkan sbr. Stefán Arnórsson o.fl. (1992).

1. Flæði úr borholum og vermi borholuvökva
2. Dreifing hita og þrýstings í jarðhitakerfinu
3. Dýpi æða (lekra jarðmyndana) og vensl þeirra við jarðmyndanir
4. Útbreiðsla jarðmyndana og ummyndunarsteinda
5. Efnainnihald vatns og gufu í borholum, m.a. með tilliti til útfellinga, tæringar og umhverfisáhrifa.

Mynsturlíkön eru lögð til grundvallar vinnslulíkani til að spá fyrir um aflgetu og endingartíma vinnslusvæðis. Slíkir reikningar koma þó fyrst til eftir að búið er að bora og prófa leitarholur og aðrar borholur.

6. UMhverfisÁhrif

6.1 Helstu áhrif á nær- og fjærumhverfið

Borunum og byggingu jarðvarmavirkjana á háhitasvæðum fylgir umtalsvert jarðrask. Raunar eru vinnslusvæði (borholusvæði) og næsta nágrenni stöðvarhúss undirlögð. Af þeim sökum er talið eðlilegt að ákveða þurfi fyrirfram hvort tiltekið háhitasvæði skuli nýtt til orkuvinnslu eða náttúra svæðisins vernduð frá slíkri nýtingu. Helstu umhverfisáhrif af nýtingu eru:

- (1) Jarðrask
- (2) Þornun vatnshvera, aukin gufuhveravirkni
- (3) Gufumengun
- (4) Hávaða- og sjónmengun
- (5) Efnamengun, bæði með loftbornum og vatnsbornum efnum.

Nýting getur einnig leitt til aukinnar smáskjálftavirkni og landsigs. Áhrif efnamengunar á umhverfið geta rýrt gæði grunnvatns til neyslu og spillt lífríki í ám og vötnum. Loftborin mengunarefni geta haft eituráhrif og tært málma og þannig valdið fjárhagslegu tjóni en auk þess haft neikvæð áhrif á heilsu og lífríki.

Sjálfbær nýting háhitalinda tekur bæði til auðlindarinnar sjálfrar og hins ytra umhverfis ásamt félagslegum þáttum og hagkvæmni. Í ljósi þess að stefna stjórnvalda er sú að nýting skuli vera sem sjálfbærust, sbr. bréf til formanns verkefnisstjórnar rammaáætlunar, Svanfríðar Jónasdóttur, dags. 18. október, 2007, er talið nauðsynlegt að tekið sé tillit til allra umhverfisþátta við byggingu og rekstur varmaorkuvera á háhitasvæðum og að um það gildi sérstök og sértæk lög eða reglugerðir. Núgildandi lög um mat á umhverfisáhrifum frá árinu 2000 (nr. 106) eru ekki sniðin með jarðhitanýtingu í huga. Í 1. gr. laganna, lið a. segir að markmið þeirra sé:

... að tryggja að áður en leyfi er veitt fyrir framkvæmd, sem kann vegna staðsetningar, starfsemi sem henni fylgir, eðis eða umfangs að hafa í för með sér umtalsverð umhverfisáhrif, hafi farið fram mat á umhverfisáhrifum viðkomandi framkvæmdar.

Þannig gera lögin ráð fyrir því að allar forsendur liggi fyrir um boranir og hönnun mannvirkja þegar áform um að nýta háhitasvæði verða að veruleika en það er ekki svo, heldur þarf fyrst að leita með borunum hvar vinnslusvæði skuli vera en lega þess svæðis hefur áhrif á hvað reisa skuli stöðvarhús og leggja gufulagnir. Þörf er á að endurskoða þessi lög m.t.t. jarðhitanýtingar. Stefán Arnórsson (2004) hefur lýst þeim áhrifum sem jarðgufuvirkjanir hafa á umhverfið.

6.2 Leiðir til að draga úr umhverfisáhrifum og stuðla að sjálfbærri þróun

Jarðrask og mannvirki á háhitasvæðum valda sjónmengun. Einnig geta háspennulínur frá virkjun haft umtalsverð sjónræn áhrif. Nýting, a.m.k. ef hún er í verulegum mæli, leiðir til þess að vatnshverir með djúpvatni þorna upp en gufuhveravirkni getur aukist. Í þessu sambandi má nefna að nýting jarðgufu til raforkuvinnslu á Reykjanesi hefur leitt til umtalsverðrar aukningar á virkni gufuhvera. Eins hefur nýting jarðvarma á Reykjum og Reykjahlíð í Mosfellsbæ leitt til þess að allir hverir á svæðinu hafa þornað en þar var áður eitt öflugasta lághitasvæði landsins; rennsli úr hverum var um 120 L/s (Barth, 1950).

Þegar vatn eða gufa eru unnin úr jarðhitakerfi fellur vökvaþrýstingur í því og það leiðir til örvunar á írennsli grunnvatns í svæðið, af kaldara grunnvatni ofan frá og frá hliðum, eða jafnvel heitari vökva að neðan. Draga má úr þrýstifalli með því að farga affallsvatni frá orkuveri og gufuskiljum um borholur niður í lindina. Æskilegt er að slík förgun verði

lögboðin, innan eða utan kerfisins enda er það í samræmi við stefnu stjórnvalda um sjálfbæra þróun. Ef varminn í affallsvatninu er nýttur þarf eftir sem áður að farga hinu kælda affallsvatni. Að öðru jöfnu er best að farga um djúpar borholur niður í vinnslusvæðið. Hér þarf þó að gæta varúðar og heimila verður sveigjanlegar áætlanir því skammhlaup getur orðið á vatni frá förgunarholum yfir í vinnsluholur þannig að vinnsluholurnar skemmist, jafnvel ónýtist.

Förgun affallsvatns um djúpar borholur hefur einnig þann kost að koma nánast í veg fyrir mengun á grunn- og yfirborðsvatni af völdum vatnsborinna mengunarefna. Hins vegar er mengun frá loftbornum efnum í gufu alltaf umtalsverð, a.m.k. fyrir gufuaflstöðvar sem hannaðar eru með hefðbundnum hætti (kæliturenum). Þessi efni (aðallega koltvíoxíð, metan og brennisteinsvetni en stundum erlendis einnig bór og kvikasilfur) berast að langmestu leyti út í andrúmsloftið frá kæliturenum og gufuþeysum á stöðvarhúsi. Tæknilega séð má minnka slíka mengun, eða nánast koma í veg fyrir hana með því að þetta gufu með vatnskælingu eins og gert er á Nesjavöllum og á Reykjanesi. Með þessu fyrirkomulagi er unnt að hafa mannvirki á yfirborði eins og lokað kerfi. Þá má farga hinum loftbornu efnum með affallsvatni um borholur eða nýta gösin (Stefán Arnórsson, 2004). Eins er mögulegt að draga mjög úr loftmengun ef kæliturenar eru notaðir með því að skilja gastegundir frá gufunni sem kemur frá gufuþeysum og farga þeim eða nýta, a.m.k. sumar þeirra. Ef gufa er þétt með köldu ferskvatni skapast möguleiki til fjölnotkunar jarðhitans.

Virkjun í tiltölulega smáum þrepum á tilteknu svæði (50-100 MW_e eftir stærð svæðanna) dregur úr óvissu um árangur og þar með áhættu um afkomu virkjunar, en þessi aðferð stuðlar jafnframt að því að lágmarka jarðrask og sjónmengun. Að virkja í stórum þrepum eykur ekki aðeins óvissu um árangur, sérstaklega til langtíma lítið, heldur einnig líkur á óþarfa jarðraski og því að boraðar verði fleiri holur en annars þyrfti. Við staðsetningu stöðvarhúss er mikilvægt að huga að vindsveipum þannig að gufu frá kæliturenum slái ekki niður, hún byrgi þannig ekki sýn við jörðu og skapi um leið aukið slit á mannvirkjum og hvítleitt vinnuumhverfi.

Flæði úr borholum dalar með tíma. Því þarf að gera ráð fyrir borun viðbótarholna (e. make-up wells) fyrir hverja virkjun samhliða rekstri. Stækkun vinnslusvæðis með borun slíkra holna verður að vera inni í því virkjunarleyfi sem virkjunaraðili byggir á og styðjast við lög.

6.3 Nýting orkulinda og verndun náttúrusvæða

Faghópur I hefur metið náttúru- og menningarminjar á háhitasvæðum og jafnframt umhverfisáhrif orkunýtingar og raðað virkjunarhugmyndum frá þeirri lökustu til hinnar bestu frá sjónarhóli verndargildis náttúru og menningarminja (sjá einnig kafla 7). Þar verður að hafa í huga að háhitasvæði sem tekin eru til virkjunar eru nánast undirlögð þar sem borað er og mannvirki reist.

Mörg háhitasvæði eru eftirsóttir ferðamannastaðir vegna sérstæðrar náttúru en líka vegna sögulegra minja. Á það einkum við um Geysissvæðið í Haukadal, Hveravelli á Kili, Kerlingarfjöll, Torfajökulssvæðið og Öskju. Ef einhver eða öll þessi svæði og hugsanlega önnur yrðu friðuð gegn orkunýtingu þyrfti eftir sem áður að huga að álagi á náttúru þessara svæða vegna ferðamanna. Fari ferðamannastraumurinn mjög vaxandi í framtíðinni gæti það leitt til þess að takmarka þyrfti aðgang og miða við tiltekinn fjölda ferðamanna hvern dag. Jafnvel þótt svæði yrðu friðuð gegn orkunýtingu í stórum stíl, mætti hugsa sér takmarkaða nýtingu með það að leiðarljósi að bæta aðstöðu fyrir ferðamenn og þar með umgengni. Nýta mætti sjálfrennandi hverir að einhverju leyti með snyrtilegum frágangi eins og á Geysissvæðinu og Hveravöllum á Kili. Eins ætti að koma til greina að leyfa borun hola þar sem vatnshverir með djúpvatni er ekki að finna, með ströngum takmörkunum þó.

Ákvörðun um verndun einstakra háhitasvæða eða nýtingu þeirra til orkuvinnslu er ætíð erfið, ekki síst vegna þess að sú ákvörðun er sumpart huglæg en sumpart hlutlæg. Með ákvörðun um nýtingu er tekin stefna sem gerir það að verkum að ekki verður aftur snúið. Af þeim ástæðum mætti hugsa sér að setja fleiri en færri háhitasvæði í biðflokk, lofa náttúrunni að njóta vafans.

7. FLOKKUN VIRKJUNARHUGMYNDA OG SJÁLFBÆR ÞRÓUN

7.1 Röðun virkjunarhugmynda

Hlutverk Faghóps IV var að „að skilgreina þá kosti sem fyrir hendi kunna að vera til að nýta vatnsorku og jarðhita til raforkuvinnslu, meta afl, orkugetu og líklegan orkukostnað hvers þeirra og forgangsraða eftir hagkvæmni“ eins og segir orðrétt í skýrslu hópsins.

Verkefnisstjórn rammaáætlunar hefur samþykkt að nota orðið virkjunarhugmynd í stað virkjunarkosts. Að því er varðar háhitann er ástæðan fyrst og fremst sú að gögn eru mjög takmörkuð um sum þessara svæða, einkum þau sem lítið eða ekki er búið að bora í.

Faghópur IV greindi 44 hugmyndir fyrir virkjun jarðgufu á 20 háhitasvæðum og skipti þeim í sex hagkvæmniflokka. Á grundvelli raunkostnaðar nýjustu jarðgufuvirkjana var áætlað að kostnaður við byggingu nýrra virkjana væri 2,5 milljónir bandaríkjadala á hvert MW_e rafafis. Hér er um meðaltalstölu að ræða. Verulegur hluti kostnaðarins (30-40%) er breytilegur, einkum vegna borkostnaðar og eiginleika hvers svæðis. Eins hlýtur lega háhitasvæða miðað við samgöngukerfi landsins að hafa áhrif á hagkvæmni.

Mat Faghóps IV byggir á mjög einfölduðum forsendum og alhæfingum um vinnslugetu og hagkvæmni virkjana á háhitasvæðum til raforkuvinnslu því gögn leyfa ekki annað. Háhitinn er orkulind sem er allt annars eðlis en fallvötnin. Háhitinn einn og sér hentar ekki vel þegar stórnotendur eru annars vegar. Það er bæði mjög dýrt og tímafrekt að afla fullnægjandi upplýsinga um vinnslueiginleika tiltekins háhitasvæðis áður en unnt er að taka rökstudda ákvörðun um gufuvirkjun, stærð hennar og hagkvæmni. Á hinn bóginn er tiltölulega ódýrt að átta sig með góðri nákvæmni á hagkvæmni tiltekinnar vatnsaflsvirkjunar og á skömmum tíma ef góðar rennismælingar eru fyrir hendi. Það gerir það kleift að gera samninga við stórnotendur áður en framkvæmdir við byggingu virkjunar eru hafnar. Andstætt þessu felur það í sér áhættu að gera samkomulag með vilyrðum um raforkusölu frá jarðgufuvirkjun til stórnotenda áður en vinnslueiginleikar háhitakerfis hafa verið staðfestir með borunum. Betur hentar að virkja einstök háhitasvæði í tiltölulega smáum þrepum (50-100 MW_e).

Verkefnisstjórn hefur raðað virkjunarhugmyndum fyrir háhita og fallvötn án þess að gera mun á eðli þessara orkulinda. Taki stjórnvöld ákvörðun um að virkja skuli á næstu áratugum verulegan hluta þeirra fallvatna og háhitasvæða sem nú eru óvirkjuð blasir við að slíkar virkjanir verða aðallega fyrir stórnotendur og að lítið sem ekkert munar um vöxt hins almenna markaðar. Höfundur telur eðlilegt að líta svo á röðun Faghóps IV að háhiti víki fyrir fallvötnum í röðinni ef um virkjun er að ræða sem byggir á sölusamningum fyrir stórnotendur (yfir 50-100 MW_e virkjun). Að öðru leyti verður að velja úr röðinni eftir því hversu mikla raforku virkjun skal framleiða og hvert afl hennar þarf að vera, svo og staðsetning miðað við flutningsgetu háspennukerfisins. Sú skilalína sem draga þarf er milli náttúrusvæða sem friða skal og þeirra sem velja skal til nýtingar orkulindanna. Fáist ekki niðurstaða í slíka skiptingu, t.d. vegna takmarkaðra upplýsinga, má setja slík náttúrusvæði í biðflokk.

7.2 Sjálfbær þróun

Faghópur III fjallaði um félagsleg (þjóðhagsmál, atvinnulíf, byggðapróun) áhrif af virkjun háhita og fallvatna. Hinn félagslegi þáttur er einn þeirra þriggja þátta sem sjálfbær þróun grundvallast á en hinir tengjast eðli auðlindarinnar og hagkvæmni nýtingar hennar (sjá kafla 4). Nýting jarðgufu til raforkuframleiðslu eingöngu fullnægir vissulega hinum hagræna þætti frá sjónarhóli þess aðila sem rekur orkuver, því raforka er verðmætt orkuform og skapar orkuveri af þeirri ástæðu tiltölulega mestu tekjunnar. Á hinn bóginn er sú heildarvarmaorka sem berst til yfirborðs um borholur illa nýtt þegar gufa er eingöngu nýtt til raforkuframleiðslu, 12-14% af varmaorkunni í gufunni er breytt í raforku. Svo takmörkuð nýting auðlindar getur

ekki talist í anda sjálfbærrar þróunar. Þótt lágvarmi sé ekki verðmætt orkuform, hefur reynslan sýnt engu að síður og ekki hvað síst á Íslandi að nýting hans til húshitunar, gróðurhúsa, sundlauga og iðnaðar hefur skipt íslenskt þjóðarþú miklu máli og líklega hefur enginn þáttur haft meiri áhrif á byggðapróun í landinu eftir síðari heimstyrjöldina en einmitt nýting jarðhita til húshitunar og gróðurhúsa. Þessi nýting er einmitt hagkvæm neytendanum vegna þess að varmagjafinn er ódýr. Auk þess sanna fjölmörg dæmi að nýting lágvarma getur verið atvinnuskapandi og því áhugaverð frá þjóðfélagslegum sjónarhóli, nefnilega hinum félagslega þætti sjálfbærrar þróunar.

Jarðhitavatn og gufa sem eru nýtt beint eru staðbundin auðlind eins og kalt vatn til neyslu og iðnaðar. Evrópusambandið lítur svo á að kalt vatn (vatnsveitur) falli utan ramma samkeppni vegna þess að henni verður ekki við komið þegar um staðbundnar auðlindir er að ræða. Sama gildir um beina notkun jarðvarma.

Byggðarlög sem eiga þess kost að nýta jarðhitavatn til húshitunar þurfa að hugsa langt fram í tímann um skipulag byggðar með tilliti til þekktra eða hugsanlegra jarðhitasvæða og vinna spár um aukna varmaþörf vaxandi byggðar. Þessi hugmynd er ekki ný af nálinni. Jóhannes Zoëga, fyrrverandi forstjóri Hitaveitu Reykjavíkur (nú Orkuveita Reykjavíkur), taldi rétt að íbúar og fyrirtæki á höfuðborgarsvæðinu ættu að hafa forgangsrétt að nýtingu nærliggjandi jarðhitasvæða til húshitunar, háhitasvæði þar með talin. Í ljósi samþykktu Evrópusambandsins þarf að skoða það vandlega hvort ekki væri rétt að staðfesta eða setja í lög að jarðhitavökvi til húshitunar sé staðbundin auðlind og að vinnsla hans eigi því ekki að vera í höndum samkeppnisaðila. Í 30. gr., V. kafla Orkulaganna nr. 58/67 segir svo um hitaveitur: „Ráðherra er heimilt að veita sveitarfélögum eða samtökum þeirra einkaleyfi, með þeim skilyrðum, sem lög þessi ákveða, til þess að starfrækja hitaveitur, sem annist dreifingu eða sölu heits vatns eða gufu til almenningsþarfa á tilteknu veitusvæði frá jarðhitastöðvum...“. Eins og orðið hitaveitur er skilgreint hér, og löggin eru skilin, getur hver sem er aflað vatns eða gufu með borunum fyrir hitaveitna. Söluaðili hefði þannig einokunaraðstöðu sem tæplega gæti samræmst tilgangi samkeppni eða almannahagsmunum.

Í raforkulögunum frá 2003 segir m.a að tilgangur laganna sé að

... skapa forsendur fyrir samkeppni í vinnslu og viðskiptum með raforku, með þeim takmörkunum sem nauðsynlegar reynast vegna öryggis raforkuafhendingar og annarra almannahagsmuna ...

Á Íslandi, hjá Evrópusambandinu og víðar hefur raforkugeiranum verið skipt niður í fjórar megin einingar, frjálsa framleiðslu, háspennunet, dreifikerfi og smásölu. Þessi skipting er rökrétt að því er Evrópusambandið varðar. Þar er raforka mest framleidd með kolum, jarðgasi og kjarnorku. Orkugjafarnir eru keyptir á heimsmarkaði og fluttir þangað sem markaðurinn þarfnast þeirra. Við þessar aðstæður á samkeppni um raforkuframleiðslu við sem aðhaldsaðgerð til að stuðla að lágu raforkuverði í almannapágu. Þessu er öðruvísi farið á Íslandi vegna þess að orkugjafarnir eru annars eðlis og þá sérstaklega háhitinn vegna fjölnotkunarmöguleika hans. Verð á raforku sem framleidd er með fallvötnum og jarðgufu er að hluta háð eiginleikum auðlindanna. Þeir eru ekki vitaðir fyrirfram fyrir einstök háhitasvæði og það skekkir samkeppnisstöðu. Veðurfar getur haft áhrif á afkomu vatnsaflsvirkjana en ófyrirséð ofnýting til langs tíma á afkomu jarðgufuvirkjana. Vert er að benda á að samrekstur jarðgufu- og vatnsaflsvirkjana hjá sama fyrirtæki er áhugaverður til að skapa rekstraröryggi. Í slæmum vatnsárum mætti ofnýta háhitasvæði tímabundið en spara þau í góðum vatnsárum. Í raforkulögunum er komið inn á þetta öryggisatriði.

Ætla mætti að árekstrar geti orðið milli þjónustufyrirtækja um beina nýtingu jarðvarma annars vegar og samkeppnisfyrirtækja um raforkuframleiðslu hins vegar. Slíka árekstra mætti hugsanlega leysa með tvennum hætti, annars vegar með því að opinber aðili (ríki, sveitarfélag) ætti og virkjaði háhitasvæði fyrir beina nýtingu en seldi jarðgufu til

raforkuframleiðslu til annars fyrirtækis líkt og orkugjafar eins og kol og jarðgas eru seldir. Einnig mætti hugsa sér að í landinu væru orkufyrirtæki sem þjónuðu þeim aðilum markaðarins sem ekki gerðu beina samninga um raforkuverð. Slík fyrirtæki væru þjónustufyrirtæki.

Lög um mat á umhverfisáhrifum eru ekki sniðin fyrir jarðhitanytingu. Þau taka ekki mið af því að óvissa ríkir um árangur borana þegar áformum um nýtingu er hrint í framkvæmd, svo og um stærð virkjunar og fyrirkomulag mannvirkja. Um leið og virkjunaraðilar ættu að fá aukið svigrúm til að leita að sem hentugustum vinnslusvæðum innan einstakra háhitasvæða þyrftu lög að setja þeim hömlur um alla umgengni. Virkjunaraðili ætti að sýna fram á aflgetu afmarkaðs vinnslusvæðis með prófunum á borholum og hermireikningum og þar með hver sé æskileg stærð virkjunar áður en virkjunarleyfi væri veitt. Nálgun sem þessi tryggir best að ofnýting eigi sér ekki stað öllum til hagsbóta og um leið að nýtingin verði sem sjálfbærust og hafi sem minnst umhverfisáhrif. Breyta þyrfti lögum um mat á umhverfisáhrifum þannig að þau tækju eðlilegt tillit til undirbúnings virkjana á jarðhitasvæðum.

8. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Eiginleikar háhitakerfa

- Á undanförnum áratugum hefur byggst upp haldgóður skilningur á jarðfræðilegum eiginleikum háhitasvæða, bæði með borunum og athugunum á fornum háhitasvæðum. Eftir sem áður er undirbúningur virkjunar á nýju svæði ætíð nýtt verkefni en ekki endurtekning á undirbúningi virkjunar á þegar nýttum svæðum.
- Varmagjafi háhitakerfa á flekaskilum virðist yfirleitt vera kvika eða storknuð innskot sem eru að kólna. Yfir kvikuhólfum má búast við að jarðhitavökvinn sé súr og jafnvel gasríkur. Þessir efnaþættir skapa rekstrarleg vandamál og rýra gæði gufu.
- Tveir eiginleikar háhitakerfa (á veraldarvísu) hafa orðið þess valdandi að áform um nýtingu hafa ekki ræst, efnaeiginleikar borholuvökva og léleg lekt.
- Borholugögn benda til þess að lekt sé góð í háhitakerfum sem liggja í virkum sprungusveimum á Reykjanesskaga nema á Krísuvíkursvæði, a.m.k. hefur góð lekt ekki enn fundist með borunum á því svæði. Annars staðar í gosbeltunum utan megineldstöðva er lekt einnig góð en ætla mátti að hún sé í heildina lakari innan megineldstöðvanna vegna mikillar tíðni innskota eins og reynslan frá Kröflu sýnir.

Nýting

- Þótt varmaflæði út um yfirborð jarðar (geothermal heat flux) sé endurnýjanleg orkulind eru einstök jarðhitakerfi endanleg auðlind, a.m.k. ef nýting er umfangsmikil. Einstök kerfi eru nánast varmanáma.
- Það er háð stærð þessara kerfa og umfangi nýtingar hversu lengi þau endast.
- Beinar upplýsingar skortir yfirleitt um stærð einstakra háhitakerfa og aðra vinnslueiginleika þeirra þegar áform um nýtingu verða að veruleika. Því er mjög mikilvægt að fylgja hefðbundnu verklagi við undirbúning að nýtingu til að hámarka árangur en lágmarka áhættu. Það er gert með því að áfangaskipta undirbúningi (sjá kafla 5) og reisa fyrst tiltölulega smáa virkjun, sjá hvernig jarðhitakerfið bregst við vinnsluálaginu og stækka virkjunina eða byggja aðra nýja í því ljósi. Með þessu móti gæti það tekið einn til tvo áratugi að fullvirkja eitt háhitasvæði.
- Æskilegt er að skilja eftir óborað belti við jaðra háhitasvæða til þess að draga úr hættu á áköfu írennsli af köldu grunnvatni í vinnslusvæði.
- Því fylgir áhætta að reisa stórar jarðgufuvirkjanir í einum áfanga. Af þeim sökum henta háhitakerfi ekki vel til raforkuframleiðslu eigi hún að þjóna stórnotendum einum og sér.

Sjálfbær þróun

- Meðal fjölmargra ríkja veraldar þykir sú siðfræði sjálfsögð að aðhyllast sjálfbæra þróun. Slík þróun tekur alltaf mið af þremur þáttum, hagkvæmni, félagslegum hagsmunum og eðli auðlinda.
- Sjálfbær þróun miðar við að auðlindir jarðar séu sem best nýttar.
- Fjölnotkun háhitasvæða er æskileg í ljósi sjálfbærrar þróunar. Hún miðar að því að hámarka nýtingu varmaorku sem kemur frá borholum. Fjölnýting bætir hagkvæmni virkjana.
- Fjölnotkun eykur fjölbreytni nýtingar, nýsköpun og atvinnutækifæri og hefur með því þjóðhagslegt gildi.

Reynslan

- Nýting varma á háhitasvæðum hérlandis með borunum og bygging orkuvera hefur sýnt sig að geta verið mjög hagkvæm, hvort sem um er að ræða beina notkun til

húshitunar og baða, rafmagnsframleiðslu eða önnur not. Það sanna dæmin í Svartsengi og á Nesjavöllum. Árangurinn stafar að hluta af eiginleikum þessara háhitasvæða.

- Virkjun í Kröflu og virkjanir reistar á þessari öld segja aðra sögu. Meginástæðan er sú að ekki var stuðst við hefðbundið verklag við undirbúning þessara virkjana.

Umhverfisáhrif

- Virkjun háhita í stórum stíl leiðir til mikillar röskunar á landi á virkjunarstað.
- Þegar áformum um virkjun er hrint í framkvæmd, er ætíð til staðar nokkur óvissa um árangur vegna þess að upplýsingar skortir um eiginleika auðlindarinnar. Eðlilegt er að virkjunaraðili búi við það frelsi að mega leita að þeim stað innan hvers háhitasvæðis sem hentar best sem vinnslusvæði.
- Vegagerð vegna borana og seinna meir gufulagna, ásamt byggingu stöðvarhúss og efnistaka, gera það að verkum að háhitasvæði sem tekið er til orkunýtingar er nánast undirlagt.
- Mengun frá háhitavirkjunum orsakast langmest af loft- og vatnsbornum eiturefnum. Önnur umhverfisáhrif eru sjón-, hávaða- og gufumengun. Fjölnotkun varmans býður upp á möguleika á að draga úr umhverfisáhrifum. Sama gerir förgun skiljuvatns og þéttivatns gufu um borholur.

Virkjun og friðun

- Friðun og virkjun á sama háhitasvæði fara yfirleitt ekki vel saman.
- Eðlilegt er að skipta háhitasvæðum í tvo meginflokka, nýtingarflokk (svæði sem taka skal til orkunýtingar) og verndunarflokk (svæði sem friða skal frá slíkri nýtingu).
- Heimila mætti nýtingu í smáum stíl á svæðum sem yrðu friðuð, að því marki að hún þjóni friðuninni og stuðli að bættri umgengni ferðamanna um hin friðuðu svæði.
- Vegna skorts á gögnum er ekki talið unnt að skipta öllum þekktum háhitasvæðum í flokkana tvo á grundvelli raka. Setja mætti svæði í biðflokk uns fullnægjandi gagna hefur verið aflað. Að öðrum kosti má hugsa sér að láta komandi kynslóðum eftir að ákveða hvort nýta skuli orku þessara svæða eða friða þau.

Lagarammi

- Lög um mat á umhverfisáhrifum eru ekki sniðin fyrir jarðhitanýtingu. Þau taka ekki mið af því að óvissa ríkir um árangur borana þegar áformum um nýtingu er hrint í framkvæmd, svo og um stærð virkjunar og fyrirkomulag mannvirkja. Mælt er með endurskoðun þessara laga þannig að þau tryggi sem best að umhverfisáhrif af jarðhitanýtingu verði í lágmarki.

9. TILVITNANIR

- Angcoy, E. C. (2010). *Geochemical modelling of the high-temperature Mahanagdong geothermal field*. Mastersritgerð, Háskóli Íslands.
- Ágúst Guðmundsson (1987). Formation and mechanics of magma reservoirs in Iceland. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **91**, 27-41.
- Barth, T. F. W. (1950). *Volcanic geology, hot springs and geysers of Iceland*. Carnegie Institution of Washington, rit 587.
- Bixley, P. F. (1986). Cooling of the Wairakei reservoir during production. Í ráðstefnuriti *Eleventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, Kalifornía, SGP-TR-93.
- Björn Þ. Guðmundsson og Stefán Arnórsson (2002). Geochemical monitoring of the Krafla and Námafjall areas, N-Iceland. *Geothermics*, **31**, 195-243.
- Davis, J. H. og Davis, R. D. (2010). Earth's surface heat flux. *Solid Earth*, **1**, 5-24.
- Dunstan, M. (1999) Small power plants. Recent developments in geothermal power generation in New Zealand. *Geo Heat Center Bulletin*, desember 1999, 5-12.
- European Union (2009). *Official Journal of the European Union*, 1, 140-16-62.
- Giroud, N. G. (2008). *A chemical study of arsenic, boron and gases in high-temperature fluids in Iceland*. Doktorsritgerð, Háskóli Íslands.
- Glover, R. B. og Bacon, L. (2000). Chemical changes in natural features and well discharges at Wairakei, New Zealand. Í ráðstefnuriti *World Geothermal Congress 2000, Kyushu – Tohoku, Japan, May 28 – June 10, 2000*, 2081-2086.
- Glover, R. B og Mroczek, E. K. (2009). Chemical changes in natural features and well discharges in response to production at Wairakei, New Zealand. *Geothermics*, **38**, 117-133.
- Guðmundur Pálmason (1973). *Crustal structure of Iceland from explosion seismology*. Societas Scientiarum Islandica, **XL**.
- Guðmundur Pálmason (2005). *Jarðhitabók – eðli og nýting auðlindar*. Reykjavík, Hið íslenska bókmenntafélag.
- Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur Ingi Haraldsson og Gísli Karel Halldórsson (1985). *Mat á jarðvarma Íslands*. Orkustofnun, skýrsla OS-85076/JHD-10.
- Gunnar Böðvarsson (1961). Physical characteristics of natural heat resources in Iceland. *Jökull*, **11**, 29-38.
- Gunnar Böðvarsson (1982). Terrestrial energy currents and transfer in Iceland. Í: Guðmundur Pálmason (ritstj.), *Continental and oceanic rifts. Geodynamic Series*, 8, *Am. Geophys. Union*, 271-282.
- Halldór Ármannsson, Ásgrímur Guðmundsson og Benedikt S. Steingrímsson (1987). Exploration and development of the Krafla geothermal area. *Jökull*, **37**, 13-30.
- Helgi Björnsson, Sveinbjörn Björnsson og Þorbjörn Sigurgeirsson (1982). Penetration of water into hot rock boundaries of magma at Grímsvötn. *Nature*, **295**, 580-581.
- Hjalti Franzson (1995). Geological aspects of the Svartsengi high-temperature field, Reykjanes Peninsula, Iceland. Í: Kharaka, Y. og Chudaev, O. (ritstj.), *Water-Rock Interaction*, Balkema, Rotterdam, 498-500.
- Hjalti Franzson (1998). Reservoir geology of the Nesjavellir high-temperature field, SW-Iceland. Í ráðstefnuriti *19th Annual PNOC-EDC Geothermal Conference*, Manila, Philippines, 13-20.
- Hjalti Franzson (2000). Hydrothermal evolution of the Nesjavellir high-temperature system, Iceland, *World Geothermal Congress 2000, Kyushu – Tohoku, Japan, May 28 – June 10, 2000*, 2075-2080.
- Hjalti Franzson (2004). *Reykjanes high-temperature geothermal system. Geological and geothermal model*. Skýrsla Íslenskra orkurannsókna ISOR-2004/012.
- Hjalti Franzson, Guðmundur Ó. Friðleifsson, Ásgrímur Guðmundsson og Elsa Vilmundardóttir (1997). *Forðafraeðistuðlar. Staða bergfræðirannsókna í lok 1997*. Skýrsla Orkustofnunar OS-97077.

- Hjalti Franzson, Guðmundur H. Guðfinnsson og Margrét H. Helgadóttir (2010). Porosity, density and chemical composition relationships in altered Icelandic hyaloclastites. Í: Birkie og Torres-Alvarado (ritstj.) *Water-Rock Interaction*, Taylor & Francis Group, London, 199-202.
- Hjalti Franzson, Zierenberg, R. og Schiffman, P. (2008). Chemical transport in geothermal systems in Iceland. Evidence from hydrothermal alteration. *J. Volc. Geothermal Res.*, **173**, 217-229.
- Hofmeister A. M. og Criss, R. E. (2005). Earth's heat flux revised and linked to chemistry. *Tectonophysics*, **395**, 159-177.
- IAEA (International Atomic Energy Agency) (2005). *Use of isotope techniques to trace the origin of acidic fluids in geothermal systems*. IAEA Report IAEA-TECDOC-1448.
- IAEA (International Atomic Energy Agency) (2010).
- Ingvar Birgir Friðleifsson (1979). Geothermal activity in Iceland. *Jökull*, **29**, 47-56.
- Jens Tómasson og Gisli Karel Halldórsson (1981). The cooling of the Selfoss geothermal area, SW Iceland. *Transactions of the Geothermal Resources Council*, **5**, 209-212.
- Jón Örn Bjarnason og Magnús Ólafsson (2000). *Í Torfajökli: Efni í jarðgufu og vatni*. Skýrsla Orkustofnunar OS-2000/030.
- Jónas Ketilsson, Héðinn Björnsson, Sæunn Halldórsdóttir og Guðni Axelsson (2009). *Mat á vinnslugetu háhitavæða*. Orkustofnun, skýrsla OS-2009/09.
- Kristján Sæmundsson (1991). Jarðfræði Kröflukerfisins. Í: Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson (ritstj.) *Náttúra Mývatns*, Hið íslenska náttúrufræðifélag, 25-95.
- Mannington, W. I., O'Sullivan, M. J. O., Bullivant, D. P. og Clotworthy, A. W. (2004). Í raðstefnuriti *Twenty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, Kaliforníu, 26-28. janúar, 2004, STP-TR-175.
- Mineral Commodity Summaries 2010* (2010). U. S. Department of the Interior, U.S. Geol. Survey (minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2010/mcs2010.pdf).
- Ólafur Jónsson (1945). *Ódáðahraun*. Bókaútgáfan Norðri hf.
- Ómar Sigurðsson, Ásgrímur Guðmundsson, Guðmundur Ó. Friðleifsson, Hjalti Franzson, Steinar Þ. Guðlaugsson og Valgarður Stefánsson (2000). Database on igneous rock properties in Icelandic geothermal systems, status and unexpected results. Í raðstefnuriti *World Geothermal Congress 2000, Kyushu – Tohoku, Japan, May 28 – June 10, 2000*, 2881-2886.
- Pollack, H. N., Huerte, S. J. og Johnson, J. R. (1993). Heat-flow from the Earth's interior – Analysis of the global data set. *Rev. Geophys.*, **31**, 267-280.
- Pope, E. C., Bird, D. K., Stefán Arnórsson, Þráinn Friðriksson, Elders, W. og Guðmundur Ó. Friðleifsson (2009). Isotopic constraints on ice age fluids in active geothermal systems: Reykjanes, Iceland. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **73**, 4468-4488.
- Sinton, J., Karl Grönvold og Kristján Sæmundsson (2005). Postglacial eruptive history of the western volcanic zone, Iceland. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems (G³)*, **12**, 1-34.
- Stefán Arnórsson (1995). Geothermal systems in Iceland: Structure and conceptual models – I. High-temperature areas. *Geothermics*, **24**, 561-602.
- Stefán Arnórsson (2004). Environmental impact of geothermal energy utilization. Í: Gieré, R. og Stille, P. (ritstj.) *Energy, Waste and the Environment: a geochemical perspective*, Geological Society, London, Special Publication, **236**, 297-336.
- Stefán Arnórsson, Andri Stefánsson og Jón Örn Bjarnason (2007). Fluid-fluid interaction in geothermal systems. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, **65**, 259-312.
- Stefán Arnórsson, Guðni Axelsson og Kristján Sæmundsson (2008). Geothermal Systems in Iceland. *Jökull*, **58**, 269-302.
- Stefán Arnórsson, Sveinbjörn Björnsson, Haukur Jóhannesson og Einar Gunnlaugsson (1992). Vinnslueiginleikar lághitasvæða Hitaveitu Reykjavíkur. Í: *Árbók Verkfræðingafélags Íslands 1991/1992*, Reykjavík, 344-366.

- Survey of Energy Resources 2010* (2010). World Energy Council – For sustainable energy (www.worldenergy.org/publications/3040.asp).
- Sveinbjörn Björnsson (1980). Jarðhiti, grunnvatn og varmi. *Náttúrufræðingurinn*, **50**, 271-293.
- Valdimar K. Jónsson og Matthías Matthíasson (1974). Hraunkæling á Heimaey – framkvæmdir. *Tímarit Verkfræðingafélags Íslands*, **59**, 71-82.
- Valgarður Stefánsson (2000). The renewability of geothermal energy. Í ráðstefnurni *World Geothermal Congress 2000, Kyushu – Tohoku, Japan, May 28 – June 10, 2000*, 883-888.
- Valgarður Stefánsson, Ómar Sigurðsson, Ásgrímur Guðmundsson, Hjalti Franzson, Guðmundur Ó. Friðleifsson og Helga Tulinius (1997). Core measurements and geothermal modelling. Í ráðstefnurni *Second Nordic Symp. on Petrophysics. Fractured reservoir. Nordic Petroleum Series: One*: 198-220.
- Walker, G. P. L. (1963). The Breiddalur central volcano, eastern Iceland. *Quart. J. Geol. Soc., London*, **119**, 29-63.
- Walker, G. P. L. (1974). Eruptive mechanisms in Iceland. Geodynamics of Iceland and the North Atlantic Area. Í: Leó Kristjánsson (ritstj.), *NATO ASI Series*, 189-201.
- Þráinn Friðriksson, Bjarni Reyr Kristjánsson, Halldór Ármannsson, Eygerður Margrétardóttir, Snjólaug Ólafsdóttir og Chiodini, Giovanni (2006). CO₂ emissions and heat flow through soil, fumaroles, and steam heated mud pools at the Reykjanes geothermal area, SW Iceland. *Applied Geochemistry*, **21**, 1551-1569.

APPENDIX C

A Resource/Reserve Classification for Minerals¹

INTRODUCTION

Through the years, geologists, mining engineers, and others operating in the minerals field have used various terms to describe and classify mineral resources, which as defined herein include energy materials. Some of these terms have gained wide use and acceptance, although they are not always used with precisely the same meaning.

The U.S. Geological Survey (USGS) collects information about the quantity and quality of all mineral resources. In 1976, the USGS and the U.S. Bureau of Mines developed a common classification and nomenclature, which was published as USGS Bulletin 1450-A—*Principles of the Mineral Resource Classification System of the U.S. Bureau of Mines and U.S. Geological Survey*. Experience with this resource classification system showed that some changes were necessary in order to make it more workable in practice and more useful in long-term planning. Therefore, representatives of the USGS and the U.S. Bureau of Mines collaborated to revise Bulletin 1450-A. Their work was published in 1980 as USGS Circular 831—*Principles of a Resource/Reserve Classification for Minerals*.

Long-term public and commercial planning must be based on the probability of discovering new deposits, on developing economic extraction processes for currently unworkable deposits, and on knowing which resources are immediately available. Thus, resources must be continuously reassessed in the light of new geologic knowledge, of progress in science and technology, and of shifts in economic and political conditions. To best serve these planning needs, known resources should be classified from two standpoints: (1) purely geologic or physical/chemical characteristics—such as grade, quality, tonnage, thickness, and depth—of the material in place; and (2) profitability analyses based on costs of extracting and marketing the material in a given economy at a given time. The former constitutes important objective scientific information of the resource and a relatively unchanging foundation upon which the latter more valuable economic delineation can be based.

The revised classification system, designed generally for all mineral materials, is shown graphically in figures 1 and 2; its components and their usage are described in the text. The classification of mineral and energy resources is necessarily arbitrary, because definitional criteria do not always coincide with natural boundaries. The system can be used to report the status of mineral and energy-fuel resources for the Nation or for specific areas.

RESOURCE/RESERVE DEFINITIONS

A dictionary definition of resource, "something in reserve or ready if needed," has been adapted for mineral and energy resources to comprise all materials,

including those only surmised to exist, that have present or anticipated future value.

Resource.—A concentration of naturally occurring solid, liquid, or gaseous material in or on the Earth's crust in such form and amount that economic extraction of a commodity from the concentration is currently or potentially feasible.

Original Resource.—The amount of a resource before production.

Identified Resources.—Resources whose location, grade, quality, and quantity are known or estimated from specific geologic evidence. Identified resources include economic, marginally economic, and sub-economic components. To reflect varying degrees of geologic certainty, these economic divisions can be subdivided into measured, indicated, and inferred.

Demonstrated.—A term for the sum of measured plus indicated.

Measured.—Quantity is computed from dimensions revealed in outcrops, trenches, workings, or drill holes; grade and/or quality are computed from the results of detailed sampling. The sites for inspection, sampling, and measurements are spaced so closely and the geologic character is so well defined that size, shape, depth, and mineral content of the resource are well established.

Indicated.—Quantity and grade and/or quality are computed from information similar to that used for measured resources, but the sites for inspection, sampling, and measurement are farther apart or are otherwise less adequately spaced. The degree of assurance, although lower than that for measured resources, is high enough to assume continuity between points of observation.

Inferred.—Estimates are based on an assumed continuity beyond measured and/or indicated resources, for which there is geologic evidence.

Inferred resources may or may not be supported by samples or measurements.

Reserve Base.—That part of an identified resource that meets specified minimum physical and chemical criteria related to current mining and production practices, including those for grade, quality, thickness, and depth. The reserve base is the in-place demonstrated (measured plus indicated) resource from which reserves are estimated. It may encompass those parts of the resources that have a reasonable potential for becoming economically available within planning horizons beyond those that assume proven technology and current economics. The reserve base includes those resources that are currently economic (reserves), marginally economic (marginal reserves), and some of those that are currently subeconomic (subeconomic resources). The term "geologic reserve" has been applied by others generally to the reserve-base category, but it also may include the inferred-reserve-base category; it is not a part of this classification system.

¹Based on U.S. Geological Survey Circular 831, 1980.

Inferred Reserve Base.—The in-place part of an identified resource from which inferred reserves are estimated. Quantitative estimates are based largely on knowledge of the geologic character of a deposit and for which there may be no samples or measurements. The estimates are based on an assumed continuity beyond the reserve base, for which there is geologic evidence.

Reserves.—That part of the reserve base which could be economically extracted or produced at the time of determination. The term reserves need not signify that extraction facilities are in place and operative. Reserves include only recoverable materials; thus, terms such as “extractable reserves” and “recoverable reserves” are redundant and are not a part of this classification system.

Marginal Reserves.—That part of the reserve base which, at the time of determination, borders on being economically producible. Its essential characteristic is economic uncertainty. Included are resources that would be producible, given postulated changes in economic or technological factors.

Economic.—This term implies that profitable extraction or production under defined investment assumptions has been established, analytically demonstrated, or assumed with reasonable certainty.

Subeconomic Resources.—The part of identified resources that does not meet the economic criteria of reserves and marginal reserves.

Undiscovered Resources.—Resources, the existence of which are only postulated, comprising deposits that are separate from identified resources. Undiscovered resources may be postulated in deposits of such grade and physical location as to render them economic, marginally economic, or subeconomic. To reflect varying degrees of geologic certainty, undiscovered resources may be divided into two parts:

Hypothetical Resources.—Undiscovered resources that are similar to known mineral bodies and that may be reasonably expected to exist in the same producing district or region under analogous geologic conditions. If exploration confirms their existence and reveals enough information about

their quality, grade, and quantity, they will be reclassified as identified resources.

Speculative Resources.—Undiscovered resources that may occur either in known types of deposits in favorable geologic settings where mineral discoveries have not been made, or in types of deposits as yet unrecognized for their economic potential. If exploration confirms their existence and reveals enough information about their quantity, grade, and quality, they will be reclassified as identified resources.

Restricted Resources/Reserves.—That part of any resource/reserve category that is restricted from extraction by laws or regulations. For example, restricted reserves meet all the requirements of reserves except that they are restricted from extraction by laws or regulations.

Other Occurrences.—Materials that are too low grade or for other reasons are not considered potentially economic, in the same sense as the defined resource, may be recognized and their magnitude estimated, but they are not classified as resources. A separate category, labeled other occurrences, is included in figures 1 and 2. In figure 1, the boundary between subeconomic and other occurrences is limited by the concept of current or potential feasibility of economic production, which is required by the definition of a resource. The boundary is obviously uncertain, but limits may be specified in terms of grade, quality, thickness, depth, percent extractable, or other economic-feasibility variables.

Cumulative Production.—The amount of past cumulative production is not, by definition, a part of the resource. Nevertheless, a knowledge of what has been produced is important in order to understand current resources, in terms of both the amount of past production and the amount of residual or remaining in-place resource. A separate space for cumulative production is shown in figures 1 and 2. Residual material left in the ground during current or future extraction should be recorded in the resource category appropriate to its economic-recovery potential.



Torfajökulssvæði, Austur-Reykjadalir.
Mynd tekin sumarið 2008 á vegum *Íslenska landslagsverkefnisins*