



ORKUSTOFNUN

Auðlindadeild

Orkuvinnsla í sátt við umhverfið

**Stefna Orkustofnunar
í umhverfismálum**

Hákon Aðalsteinsson

1999

OS-99014



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 760 900

Hákon Aðalsteinsson

Orkuvinnsla í sátt við umhverfið


Um stefnu Orkustofnunar í umhverfismálum

OS-99014

Mars 1999

ORKUSTOFNUN: Kennitala 500269-5379 - Sími 569 6000 - Fax 5688 896
Netfang os@os.is - Heimasíða <http://www.os.is>



Skýrsla nr.: OS-99014	Dags.: Mars 1999	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Orkuvinnsla í sátt við umhverfið Um stefnu Orkustofnunar i umhverfismálum	Upplag: 250	
	Fjöldi síðna: 20	
Höfundar: Hákon Aðalsteinsson	Verkefnisstjóri: Hákon Aðalsteinsson	
Gerð skýrslu / Verkstig: Mörkun umhverfisstefnu	Verknúmer: 3-760900	
Unnið fyrir:		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Sú mikla áhersla sem lögð er á umhverfismál um þessar mundir ýtir undir að fyrirtæki og stofnanir móti sér stefnu í þeim málaflökki. Sú stefna hlýtur að taka mið af eðli starfseminnar og markmiðum viðkomandi. Ennfremur er mikilvægt að greina ítarlega þá möguleika sem hver og einn hefur til að koma slíkri stefnu í framkvæmd. Hlutverk Orkustofnunar er að annast yfirlitsrannsóknir á orkulindum landsins og skilyrðum til hagnýtingar þeirra, ásamt ráðgjöf til stjórnvalda þar að lútandi. Í skýrslunni er lögð áhersla á að lýsa verklagi og stefnu stofnunarinnar við rannsóknir á orkulindunum, greina eðli þeirra m.t.t. sjálfbærrar nýtingar og hvernig þeirri nýtingu skuli hátað til að tryggja sjálfbæra þróun samfélagsins.		
Lykilorð: Orkulindir, Orkuvinnsla, umhverfismál, umhverfisstefna, forgangsroðun, sjálfbær orkubúskapur	ISBN-númer: ISBN 9979-68-029-6	
	Undirskrift verkefnisstjóra: 	
	Yfirfarið af: ÞH, FS, HeTo, VS, PI	

EFNISYFIRLIT

1. Inngangur	3
2. Grunnrannsóknir	5
3. Heildstæð sýn til orkuvinnslu og umhverfismála	6
4. Forgangsstöðun hagsmuna	8
4.1 Framkvæmdaáætlun ríkisstjórnarinnar	8
4.2 Verksvið stofnana	8
4.3 Samvinna um heildstæða sýn á nýtingu auðlinda	9
5. Sjálfbær orkuvinnsla	11
5.1 Almenn	11
5.2 Orkuvinnsla	12
5.3 Orkunýtni	13
5.4 Orkusparnaður	14
5.5 Orkulindirnar	15
5.5.1 Vatnsorka	15
5.5.2 Jarðhiti	17
6. Tilvitnanir	20

MYNDIR

1. mynd: Ferill vatns sem fellur sem úrkoma á landið útfært sem orkuflæði
2. mynd. Ferill varma úr iðrum jarðar upp undir landið, útfært sem orkuflæði

Myndirnar eru úr erindi fluttu á afmælisráðstefnu Orkustofnunar "Orkuvinnsla í sátt við umhverfið", í október 1997. (Valgarður Stefánsson og Elías B. Elíasson 1998).

1. Inngangur

Orkustofnun hefur líkt og flestar stofnanir og fyrirtæki haft umhverfisstefnu. Hún hefur ekki verið sett upp á skilti, en hefur vonandi lýst sér í verki. Fyrirtæki og stofnanir hafa ákaflega mismunandi tök á að móta sér og framkvæma stefnu í umhverfismálum. Fyrirtæki geta gert umhverfisstefnu að hluta af ímynd sinni og notað til þess fjármagn af kostnaðarlið auglýsinga og kynninga. Önnur fyrirtæki geta með beinum eða óbeinum hætti lagt gjald á viðskiptavinum sína og myndað sjóði til úthlutunar á fé til verkefna á sviði umhverfismála, landinu og sjálfum sér til dýrðar.

Það er ekki á valdi stofnana sem Orkustofnunar að verja fjármunum til verkefna sem ekki falla að lögbundnu verksviði hennar. Orkustofnun er ekki framkvæmdaaðili og hefur því takmarkaða möguleika til að láta til sín taka á sviði framkvæmda, t.d. með áhrifum á hönnun og frágang mannvirkja og umhverfi þeirra.

Það er ekki þar með sagt að Orkustofnun geti ekki lagt mikilvægan skerf til umhverfismála. Þar gildir að við úrlausn verkefna reyni stofnunin að vera í takt við samfélagið, viðhorf þess og þróun. Meginverksvið stofnunarinnar eru rannsóknir á orkulindum landsins og áætlanir um nýtingu þeirra. Stofnunin er ráðgjafi stjórnvalda um flest er lýtur að orku og öðrum jarðrænum auðlindum. Flestar orkulindir landsins eru í almanna-eigu og í forsjá stjórnvalda. Við ráðstöfun þeirra ætti að vera hægt að setja hvaða skilyrði sem er til að tryggja að farið sé að stefnu stjórnvalda í umhverfis- og auðlindamálum.

Sem ráðgjafa stjórnvalda ber Orkustofnun að móta skoðun á því hvernig fara skuli með þessar auðlindir.

Umhverfisstefnu Orkustofnunar er lýst í tveimur einföldum yrdingum.

- **Orkuvinnsla og nýting verði í sem bestri sátt við umhverfið.**
- **Orkubúskapur landsins verði í sem ríkustum mæli sjálfbær.**

Það sem hér fer á eftir eru vangaveltur höfundar um hvað í ýmsum hugtökum og frösum gæti falist varðandi nýtingu innlendra orkulinda og hvernig Orkustofnun gæti náð þeim markmiðum sem felast í stefnumótuninni.

Umhverfisstefna Orkustofnunar

Hlutverk Orkustofnunar er að annast yfirlitsrannsóknir á orkulindum landsins og skilyrðum til hagnýtingar þeirra.

Þetta hlutverk vill stofnunin rækja með eftirfarandi að leiðarljósi.

- **Orkuvinnsla og nýting verði í sem bestri sátt við umhverfið.**
 - **Orkubúskapur landsins verði í sem ríkustum mæli sjálfbær.**
1. Að greina helstu umhverfisáhrif þegar við frumathuganir stofnunarinnar á virkjunarkostum og annarri nýtingu auðlinda.
 2. Að vinna að heildstæðu yfirliti um virkjunarkosti, hagkvæmni þeirra og umhverfisáhrif og í kjölfarið flokkun kostanna eftir samræmdu mati á verndargildi, hagkvæmni og þjóðarþörfum.
 3. Að benda á leiðir til að ná sem bestri nýtingu þeirra auðlinda sem teknar eru til vinnslu.
 4. Að standa fyrir rannsóknum á þáttum sem tryggja eftir föngum sjálfbæra nýtingu orkulindanna og laga orkuvinnslu að náttúrulegri endurnýjun þeirra.
 5. Að stuðla að og taka þátt í starfi til að bæta orkunýtingu, þjóðinni til hagsældar, afla upplýsinga og benda á leiðir í því sambandi.
 6. Að efla athuganir stofnunarinnar á leiðum til að nýta innlendar, endurnýjanlegar orkulindir í stað innfluttrar orku og taka þátt í samstarfi um verkefni á því sviði.
 7. Að eiga góða samvinnu við stjórnvöld, stofnanir, fyrirtæki, samtök og einstaklinga um markmið og leiðir í umhverfismálum.

Að auki mun stofnunin hér eftir sem hingað til leggja áherslu á góða umgengni í starfi sínu úti í náttúrunni og virða lög, reglur og góða siði í því sambandi. Þá mun stofnunin hafa umhverfissjónarmið í heiðri við innkaup sín og rekstur.

2. Grunnrannsóknir

Þáttur Orkustofnunar í rannsóknum og skilgreiningu á orkuvinnslukostum fer fram á svonefndu forathugunarstigi. Forathugun er yfirlitsmat á orkuvinnslukostum og sem slík undanfari hönnunar miðað við einstök orkuvinnslusvæði, og markmið hennar er fyrst og fremst að afla nægra gagna og sinna viðeigandi úrvinnslu þeirra. Ákvörðun um virkjunarröð, nauðsynlegur undirbúningur framkvæmda og síðar bygging virkjunar, þ.m.t. endanlegt mat á umhverfisáhrifum, er á verksviði orkufyrirtækja, í samráði við iðnaðarráðuneyti, að fenginni umsögn Orkustofnunar.

Í grunnrannsóknum vegna forathugunar hefur Orkustofnun látið gera rannsóknir á náttúrufari og landháttum viðkomandi virkjunarsvæðis, og hafa slíkar rannsóknir ráðið miklu um niðurstöður varðandi virkjunarleiðir. Við rannsóknir á vatnsorku er í byrjun lögð áhersla á rennslismælingar og gerð nákvæmra landakorta. Leitað er að heppilegum lónstæðum fyrir miðlun í samræmi við rennsliseiginleika og leitað er leiða til að veita vatni að virkjunarstað þar sem hægt er að nýta sem mest af falli árinna. Þegar fundnar eru leiðir sem virðast hagkvæmar hefjast rannsóknir á öðrum náttúrufarslegum skilyrðum til virkjunar. Jarðfræðirannsóknir, -kortlagning og grunnvatnsrannsóknir eru fyrirferðamestar. Niðurstöður þeirra skilgreina tæknilega eiginleika jarðgrunns og berglaga sem mannvirki og vatnsvegir yrðu lögð í, en einnig eru þessar rannsóknir liður í almennum náttúrufarsrannsóknum vegna mats á líklegum umhverfisáhrifum.

Jarðfræðirannsóknir og kortlagning eru einnig snar þáttur í rannsóknum á jarðhita, en einnig jarðeðlisfræðilegar mælingar. Þær mælingar eru m.a. nýttar til að afmarka líkleg vinnslusvæði. Landnýting er mun minni við nýtingu jarðhita en vatnsafls og þess vegna hafa náttúrufarsrannsóknir almennt verið takmarkaðar í jarðhitarannsóknum. En jarðhitasvæði, og þá sérstaklega háhitasvæði eru sérstæð náttúruyfyrirbæri, og kallar það á nákvæmari kortlagningu. Rannsóknir á yfirborðsvirkni eru einnig snar þáttur í rannsóknum á jarðhitasvæðum, bæði hvað varðar hita, og efnasamsetningu, og gas þar sem það á við. Líftæknideild Iðntæknistofnunar hefur unnið að þróun aðferða við að einangra erfðaefni úr örverum á háhitasvæðum m.a. til að greina tegundir sem lifa í hverum (Guðmundur Óli Hreggviðsson o.fl. 1999). Með slíkum aðferðum má auka þekkingu á líffræðilegum fjölbreytileika hverasvæðanna. Þessar rannsóknir hafa verið unnar fyrir Hitaveitu Reykjavíkur og Landsvirkjun. Orkustofnun stefnir að þáttöku m.a. með það í huga að kanna samþættingu þeirra við aðrar rannsóknir á yfirborðsvirkni. Þá er stefnt að almennum rannsóknum á lífvist sem tengist áhrifum jarðhita á nánasta umhverfi hverasvæðanna í samvinnu við Náttúrufræðistofnun Íslands. Á undanförunum árum hefur verið unnið að viðtækum rannsóknum á umhverfisáhrifum af virkjun háhita í samvinnu við Hitaveitu Reykjavíkur, Hitaveitu Suðurnesja, Landsvirkjun og umhverfisráðuneytið (Hrefna Kristmannsdóttir 1997).

Orkustofnun hefur gert sér far um að greina helstu umhverfisáhrif, sem ætla má að væntanlegar virkjanir muni hafa, strax á fyrstu stigum undirbúnings.

3. Heildstæð sýn til orkuvinnslu og umhverfismála

Hlutverk Orkustofnunar er skilgreint í 2. gr. orkulaga (nr. 58/1967). Þar segir í 2. tölulið:

Að annast: Yfirlitsrannsóknir á orkulindum landsins, eðli þeirra og skilyrðum til hagnýtingar þeirra; yfirlitsrannsóknir í orkubúskap þjóðarinnar, er miði að því, að unnt sé að tryggja, að orkuþörf þjóðarinnar sé fullnægt og orkulindir landsins hagnýttar á sem hagkvæmasta hátt á hverjum tíma.....

Ennfremur segir í 9. tölulið að Orkustofnun eigi

að hafa umsjón með fallvötnum og jarðhitasvæðum í eigu ríkisins, halda skrá yfir þau með greinargerð fyrir skilyrðum til hagnýtingar þeirra, eins og bezt er vitað á hverjum tíma, og láta ríkisstjórn í té vitneskju um þetta.

Í þessum lagatexta eru hugtök sem ekki eru alltaf einhlít. Að hagnýta orkulindir á sem hagkvæmasta hátt felur í sér að orkurannsóknir beinast einkum að því að leita að og rannska ódýrar virkjunarleiðir, einnig að nýta hvern kost á sem hagkvæmasta hátt. Að velja ódýra virkjunarröð er vitanlega meðal þess sem tryggir hagsmuni orkukaupenda, en þeir, þar á meðal almenningur, hefur mun víðtækari og flóknari hagsmuni en þá er eingöngu lúta að ódýrri orku.

Skilyrði til hagnýtingar er annað hlaðið hugtak. Það tekur til hagkvæmni og þar af leiðandi til orkuverðs, og alls þess sem leiðir til annmarka á hagnýtingu. Þau staðbundnu tæknilegu skilyrði til hagnýtingar, sem að endingu skila sér í framleiðslukostnaðarverði orkunnar má segja að séu nokkuð einhlít. Öðru máli gegnir um annmarka, sem lýsa sér í þáttum sem eru oft huglægir og breytilegir og lúta t.d. að hugmyndum um þörf fyrir náttúruvernd.

Orkustofnun er jafngömul gildandi orkulögum, sem eru frá 1967. Vafalaust hafa menn þá haft annan skilning en nú hvað fælist í skilyrðum til hagnýtingar. Þótt erfitt sé að dæma um það eftir á, þá er líklegt að alvarlegar athugasemdir við stækkun Laxárvirkjunar og við hugmyndir um stórt lón í Þjórsá, sem hefði getað sökkt bróðurparti Þjórsárvera, hafi valdið straumhvörfum í undirbúningi að virkjunum. Við þessum athugasemdum var brugðist með ítarlegum rannsóknum á Mývatni og Laxá og Þjórsárverum. Í fyrria tilvikinu á vegum iðnaðarráðuneytisins og í því síðara á vegum Orkustofnunar. Upp úr því urðu náttúrufarsrannsóknir, og mat á virkjunarsvæðum m.t.t. verndunar, fastur liður í undirbúningsrannsóknum.

Orkustofnun réði árið 1974 sérfræðing til að hafa umsjón með umhverfisrannsóknum, sem að mestu hafa þó verið unnar af öðrum rannsóknarstofnunum. Með tímanum hafa farið fram ítarlegar rannsóknir víða á hálendinu. Stærstu samfelldu svæðin eru við Blöndu, jökulárnar í Skagafirði, á Austurlandshálendi frá Jökulsá á Fjöllum austur á Hraun austan Fljótsdals og á svæðum við Þjórsá, allt frá Sandafelli upp á Sprengisand. Við gagnaöflun vegna skipulags miðhálandis var ljóst að á þessum svæðum, sem höfðu verið könnuð á vegum Orkustofnunar og Landsvirkjunar, lágu fyrir langítarlegastar upp-

lýsingar um náttúrufar og víðast hvar utan þeirra var þekking ákaflega gloppótt. Nánast einu heildstæðu gögnin sem lágu fyrir voru gróðurkort Rannsóknastofnun landbúnaðarins (Rala), sem náðu yfir stóran hluta hálendisins. Náttúrufræðistofnun Íslands hefur gert yfirlitskort í mælikvarða 1:500.000 af öllu landinu sem byggir m.a á gróðurkortum Rala.

Grundvallarþættir náttúrufræðisrannsókna hafa ætíð verið gróðurfar, vatnalíf, landslag og jarðfræði, og dýralíf. Tekið er mið af því hvort einstakar tegundir eða samfélagsgerðir eru sjaldgæfar, sérstæðar eða fjölbreyttar og einnig hefur verið litið til grósku lífríkis. Sambærilegt mat er lagt á jarðfræði, vatnafar og landslag. Mat á því hvort viðkomandi svæði eða fyrirbæri hefur verndargildi byggist á svæðisbundnum samanburði og á heildarsýn til landsins alls. Hið síðarnefnda hefur ætíð verið örðugt vegna skorts á nauðsynlegri heildstæðri þekkingu á náttúruferli landsins. Þessi vöntun á heildarsýn, og þar með á eðlilegum viðmiðum um það sem hefur verndargildi, hefur verið eitt helsta vandamálið við túlkun á niðurstöðum rannsókna. Viðmið um verndargildi hafa verið sett í samvinnu við þá sérfræðinga sem unnu rannsóknirnar. Þannig að í stað opinberra viðmiða hefur verið stuðst við "bestu manna" yfirsýn, eins og hún var á hverjum stað og tíma.

Af þessu leiðir annars vegar þann vanda frá sjónarhóli orkufyrirtækja, að við þessar aðstæður, þ.e. takmarkaða yfirsýn, kunna þau svæði sem best eru þekkt að fá verndargildi um efni fram. Hins vegar er þá vandi þeirra sem þurfa að veða og meta hvort viðkomandi virkjun brjóti í bága við verndarhagsmuni, sem einnig stafar af takmarkaðri heildarsýn.

Til þessa hefur eitt virkjunarsvæðið af öðru verið tekið til rannsókna í samræmi við skammtíma virkjunarröð, sem fyrst og fremst hefur helgast af áætlaðri hagkvæmni. Þannig hafa menn þurft að taka afstöðu til afmarkaðs hluta af væntanlegri heildarmynd í hvert sinn, sem taka þarf ákvörðun um nýja virkjun. Þetta hefur valdið nokkurri gremju og ýmsum hefur fundist sem verið væri að stilla þeim upp við vegg. Ef skortur á heildarsýn er vandamál er ekki eingöngu við einstaka framkvæmdaraðila að sakast. Ekki bera þeir ábyrgð á hve lítil áhersla hefur verið lögð á skipulega gagnaöflun um náttúruferli landsins og að Náttúruverndarráð (nú Náttúruvernd ríkisins) hafi ekki haft burði til að skapa heildarsýn í náttúruvernd.

Niðurstöður samvinnunefndar um skipulag Miðhálendisins eru síst af öllu til þess fallnar að bæta úr þessum annmörkum. Stór hluti svæðisins er gert að náttúruverndarsvæði og meirihluti þess sem eftir er að almennu verndarsvæði á óljósum forsendum. Náttúruverndarsvæðin eru blanda af friðlýstum svæðum og misvel grunduðum friðunartillögum. Sú heildarsýn sem skipulagið ætti að gefa er þannig lítið rökstudd og því er erfitt á henni að byggja. En það verður líka að hafa í huga að væntanlega á óvissan sinn eðlilega þátt í þeirri varfærni sem samvinnunefnd um skipulag Miðhálendisins vill viðhafa með því að auðkenna stór svæði sem verndarsvæði, þar sem frekar mætti líta svo á að skipulagi sé frestað. Niðurstaðan um skipulag Miðhálendisins ætti að vera hvatning til að búa sig vel undir væntanlega endurskoðun þess.

4. Forgangsröðun hagsmuna

4.1 Framkvæmdaáætlun ríkisstjórnarinnar

Framkvæmdaáætlun ríkisstjórnarinnar til aldamóta *Sjálfbær þróun í íslensku samfélagi* bendir til að nú verði straumhvörf í þessum efnum. Þar segir um markmið:

Þróun íslensks iðnaðar og orkubúskaðs verði með þeim hætti að nýting orkulinda skerði ekki lífsskilyrði komandi kynslóða og að slík nýting og hvers kyns iðnaðarstarfsemi valdi ekki skaðlegri mengun eða óhóflegri röskun vistkerfa og náttúruminja.

Um leiðir að þessu markmiði segir m.a. varðandi öflun vatnsorku og jarðvarma:

- *Iðnaðarráðherra, í samráði við umhverfisráðherra, láti gera rammaáætlun til langs tíma um nýtingu vatnsafls og jarðvarma og skal henni lokið fyrir árslok 2000. Áætlunin sé í samræmi við samhæfða stefnu í umhverfis-, orku-, iðnaðar- og efnahagsmálum auk ferðaþjónustu. Í henni verði sérstaklega fjallað um verndargildi einstakra vatnasvæða og niðurstöður felldar að skipulagi. Í henni verði sérstaklega könnuð áhrif smárra virkjana.*
- *Rannsóknir verða gerðar til að afla grundvallarþekkingar á umhverfisáhrifum virkjana á Íslandi og fé lagt til þróunar rannsóknaraðferða í því skyni. Rannsóknnum á umhverfisáhrifum nýrra virkjana verði hagað í samræmi við forgangsröðun í rammaáætluninni um virkjanir.*
- *Séð verði til þess að áður en vinnsla jarðhita hefst hafi farið fram grunnrannsóknir á lífríki og vatnsbúskap sem hugsanlega raskast við rannsóknir eða vinnslu.*

Verkefni rammaáætlunar felst í því að skilgreina annars vegar þá hagsmuni sem eru fólgnir í hagkvæmum orkulindum og hins vegar aðra hagsmuni, m.a. þá sem felast í verndargildum sem skerðast við nýtingu orkulindanna.

4.2 Verksvið stofnana

Orkustofnun hefur gert sér far um að draga fram heildarmynd af mögulegum og hagkvæmum orkuöflunarkostum. Sú mynd er byggð á úttektum sem birtar voru á Orkuþingi 1981. Úr þeim efniviði var dregið saman yfirlit um *Innlendar orkulindir til vinnslu raforku* sem iðnaðarráðuneytið gaf út 1994. Yfirlitinu var ætlað að ná til allra kosta sem ætla má að geti verið hagkvæmt að nýta. Yfirlitið var byggt á mjög mismunandi forsendum og misgóðum áætlunum. Reynt var að flokka virkjanir eftir kostnaði eftir því sem hægt var, en enn er sú flokkun að vonum oft fremur gróf og ónákvæm. Landsvirkjun (1998) hefur látið taka saman eldri áætlanir um vatnsorku og gera nokkrar nýjar, en enn er talsvert óunnið.

Það er hlutverk Náttúrufræðistofnunar Íslands að rannsaka náttúru landsins. Fram að þessu hefur stofnunin haft lítið fjármagn til að sinna lagaskyldum sínum á þessu sviði, en hún hefur sett sér það mark að auka rannsóknir, gera gögn sín sýnilegri og leggja fram tiltekna yfirlitsþekkingu á náttúru landsins. Æskilegt er að framkvæmdaáætlunir,

sem þurfa að láta meta umhverfisáhrif vegna framkvæmda, þurfi ekki að byrja á því að afla grundvallarupplýsinga, heldur geti þeir einbeitt sér að þeim áhrifum sem vænta má að framkvæmdir hafi.

Hlutverk Náttúrufræðistofnunar í náttúruvernd og mati á verndargildum er ótvírætt eins og fram kemur í 4. gr. laga um Náttúrufræðistofnun Íslands og náttúrustofur (nr. 60/1992), en þar segir í e-lið upptalningar:

Að leiðbeina um hóflega nýtingu náttúrulegra auðlinda og aðstoða með rannsóknum við mat á verndargildi vistkerfa og náttúruminja og áhrifum mannvirkjagerðar og annarrar landnotkunar á náttúruna.

Eitt af markmiðum náttúruverndar, sbr lög nr. 93/1996, er skv. 2. mgr. 1. gr.:

Lögin eiga að tryggja eftir fönngum þróun íslenskrar náttúru eftir eigin lögmálum, en verndun þess sem þar er sérstætt eða sögulegt.

Í 5. gr laganna er hlutverk Náttúruverndar ríkisins m.a. skv. d-lið upptalningar:

Undirbúningur að friðlýsingu svæða, umsjón með gerð verndaráætlana fyrir náttúruverndarsvæði og skráning náttúruminja.

Náttúrufræðistofnun hefur verið efld til muna í samræmi við víðtækari skyldur. Nú er lag að taka myndarlega á þeim verkefnum sem framkvæmdaáætlun ríkisstjórnarinnar felur stofnunum sínum. Ennfremur er augljóst að orkufyrirtæki hafa einnig hag af því að leggja slíkum verkefnum lið.

Orkustofnun hefur einnig stundað umfangsmiklar rannsóknir í náttúrufari landsins, og hefur í fórum sínum gögn um ýmsa þætti náttúrufars sem spanna landið allt, svo sem vatnamælingar og grunnvatn, eða ná til meginhluta hálendisins, svo sem jarðfæði jarðgrunns (lausra jarðlaga). Einnig má nefna víðtækt safn korta og annarra upplýsinga um móberg. Orkustofnun tekur jafnframt þátt í verkefnum sem hafa að markmiði heildarsýn á lífríki straumvatna.

4.3 Samvinna um heildstæða sýn á nýtingu auðlinda

Sem fyrirmynd að vinnubrögðum til að öðlast heildstæða sýn á nýtingu orkulinda landsins er eðlilegt að taka mið af samsvarandi úttekt sem Norðmenn hafa unnið að s.l. tvo áratugi. Áætlunina hafa Norðmenn nefnt Samlet plan om vassdrag, eða rammaáætlun um nýtingu vatnsfalla. Líkt og kveðið er á um í framkvæmdaáætlun ríkisstjórnarinnar gengur áætlunin út á að forgangsraða þeim hagsmunum sem varða nýtingu vatnsfallanna. Orkustofnun hefur fylgst með þessari vinnu Norðmanna og var hún stuttlega kynnt á ársfundi Orkustofnunar 1994. Frá því að framkvæmdaáætlunin var samþykkt í ríkisstjórn og gefin út 1997 hefur Orkustofnun unnið að því að móta hugmyndir að framkvæmd rammaáætlunar með hliðsjón af Samlet plan. Haustið 1998 fóru fulltrúar frá Orkustofnun og Náttúruvernd ríkisins til Noregs til að kynna sér framkvæmd áætlunarinnar (Orkustofnun og Náttúruvernd ríkisins 1998). Á grundvelli upplýsinga úr þeirri ferð lagði orkumálastjóri fram hugmyndir að skipulagi hliðstæðrar áætlunar fyrir Ísland.

Eftir ítarlega umfjöllun ráðuneyta iðnaðar- og umhverfismála var verkefninu hleypt af stokkunum með kynningu þann 8. mars 1999 undir kjörorðinu

Maður - Nýting - Náttúra

Rammaáætlun um nýtingu vatnsafls og jarðvarma

Samkvæmt þessari áætlun á að meta nýtingu vatnsfalla og jarðhitasvæða út frá eftirfarandi megin nýtingarsjónarmiðum:

- Orkuvinnslu
- Náttúru- og minjavernd
- Útivist
- Hlunnindum
- Þjóðarhag, atvinnu- og byggðaðpróun

Orkustofnun mun fyrir hönd iðnaðarráðuneytisins hafa umsjón með nauðsynlegum rannsóknnum, í samvinnu við umhverfisráðuneytið og verkefnisstjórn rammaáætlunar.

Við mat á hagkvæmni virkjunarkosta þarf að beita samræmdum aðferðum. Sem fyrr segir eru áætlanir um virkjanir bæði mjög misítarlegar og misgamlar. Það þýðir m.a. að tæknilegar forsendur tilhögunar geta verið úreltar og einnig er líklegt að í einstaka tilfellum hafi ekki verið gætt sem skyldi að umhverfisvænum lausnum í samræmi við þau viðhorf sem nú ríkja. Það er því óhjákvæmilegt að fara ofan í saumana á öllum fyrri áætlunum. Orkustofnun stefnir að samvinnu við orkufyrirtæki um þátttöku í þessu átaki, einkum á svæðum þar sem þau hafa öðlast rétt til undirbúnings virkjana, eða þar sem þau reka virkjanir nú þegar.

Það er einnig nauðsynlegt að samræma vinnubrögð við að meta verndargildi virkjunarsvæða. Þar ber hæst að setja gagnsæ verndarviðmið, svo að það verð eftir föngum nokkuð augljóst á hverju matið byggist. Það verkefni mun hvíla á stofnunum umhverfisráðuneytis, einkum Náttúruvernd ríkisins og Náttúrufræðistofnun Íslands.

Einnig er æskilegt að hafa samvinnu við aðrar stofnanir, fyrirtæki eða einstaklinga sem vinna að verkefnum þar sem markmið geta fallið að heildstæðri sýn á umrædd nýtingarsjónarmið.

5. Sjálfbær orkuvinnsla

5.1 Almennt

Íslendingar byggja afkomu sína í ríkum mæli á náttúruauðlindum. Aðalatvinnuvegur okkar, sjávarútvegur, byggir á afrakstri af náttúrulegri endurnýjun í viðkomandi sjávardýrastofnum. Við nýtum jarðhita til að húshitunar, landbúnaðar og iðnaðar. Nú er meira en 85% af húsnæði landsmanna hitað með jarðhita. Raforkuframleiðsla byggir 99,9% á innlendum náttúruauðlindum.

Í framkvæmd sjálfbærrar þróunar felst ákveðin nálgun eða aðferðafræði sem á að tryggja velferð komandi kynslóða í víðtækum skilningi. Í því felst að auðlindum sé ráðstafað þannig að komandi kynslóðir geti notið sömu velferðar og núlifandi kynslóðir. Grundvallarregla er *að velferð eins má ekki vera á kostnað velferðar annars* og í samræmi við það má skilgreina takmörkun í sókn eftir meiri velferð sem þá stöðu þegar *velferð eins verður ekki aukin frekar án þess að ganga á velferð annars*. Við framkvæmd sjálfbærrar þróunar gilda ofangreindar meginreglur. Ef litið er til áframhaldandi nýtingar orkuauðlinda, þá er engin lausn fólgin í því að geyma hagkvæma orkuvinnslumöguleika, til þess eins að komandi kynslóðir geti notið þeirra, vegna þess að það verða alltaf til komandi kynslóðir, nema hægt sé að dagsetja endalok mannkyns. Það er einnig miskilningur að það borgi sig að geyma endurnýjanlegar orkulindir vegna þess að orkuverð eigi eftir að hækka. Það felst í sjálfu hugtakinu endurnýjanleg auðlind að henni er ekki eytt með nýtingu. Öðru máli kann að gegna um tæmanlegar auðlindir. Þar væri hugsanlega þörf á að taka tillit til þess að í framtíðinni fengist mun betra verð fyrir auðlindina eða betri heildarnýting á orkuforðanum. **Brýnt er að settar verði meginreglur til að tryggja áframhaldandi afrakstur af auðlindunum.**

Hagkvæm orkuöflun er eitt af því sem tryggir hagsmuni okkar jafnt sem komandi kynslóða. Hagsmunir er samsett hugtak og ná til margra þátta, sem breytast í takt við gildismat. Þau sannindi liggja ótvírætt í sögu þjóðarinnar. Á meðan allt okkar æði fór í að lifa af var náttúran naumast til annars en nytja. Um það vitnar umgengni genginna kynslóða um landið; ofnýting og þar af leiðandi gróður- og jarðvegseyðing. Á fyrri hluta aldarinnar þegar Íslendingar voru að byggja upp nútíma velferðarþjóðfélag fór lítið fyrir sjónarmiðum náttúruverndar. Þörf fyrir náttúruvernd kemur í ljós með auknum tómstundum og tækifærum til að njóta fegurðar náttúrunnar. Þetta mótar mat okkar á þeim hagsmunum sem fólgnir eru í náttúrufarslegum gæðum. Hvert verður gildismat komandi kynslóða? Um það getum við fátt sagt annað en að ef velferð helst eða vex er líklegt að komandi kynslóðir muni ekki hverfa frá áþekku gildismati og núlifandi kynslóðir og leggja í það minnsta sömu áherslu á náttúruvernd.

Framleiðsla raforku úr hagkvæmri innlendra orku kostar minna en helming þess sem kostar að framleiða hana með jarðefnaeldsneyti, og það er tæpast neinum blöðum um það að fletta að vart er um að ræða ódýrari kost til húshitunar en með jarðhitaorku, þar sem hún er fyrir hendi og auðvinnanleg. Innlendir orkugjafar spara mikinn gjaldeyri, sem þjóðin getur nýtt til annarra þarfa. Þar fyrir utan er sú orkunotkun án mengunar. Hagkvæmar leiðir til að sjá þjóðinni fyrir hinni lífsnauðsynlegu orku eiga því ríkan þátt

í velferð hennar og afstöðu hennar til náttúrunnar.

Ein af meginreglum þjóðfélagsins er, og á að vera, að gera það sem gert er á hagkvæman hátt, annað er sóun og siðferðilega rangt. Ef hlutirnir eru gerðir á hagkvæman hátt má flytja afraksturinn eða hluta hans til komandi kynslóða. Það út af fyrir sig er liður í sjálfbærri þróun, því sé hagkvæmni ekki gætt, leggjum við óþarfa byrðar á afkomendur okkar.

5.2 Orkuvinnsla

Hefur núverandi orkukerfi þróast í samræmi við markmið um sjálfbæra þróun? Er það hagkvæmt? Var þeirri hagkvæmni e.t.v. náð með slæmri umgengni við náttúruna? Í meginatriðum er orkuvinnslan hagkvæm. Það hefur tekist að velja hagkvæm orkuvinnslusvæði og þegar á heildina er litið hefur yfirleitt verið farið mjúkum höndum um náttúruna. Það sem við núverandi aðstæður myndi væntanlega einna helst orka tvímælis eru Skeiðsfossvirkjun (ákvörðun tekin fyrir hálfri öld) og Steingrímsstöð (ákvörðun tekin fyrir fjórum áratugum). Við getum hins vegar ekki fellt dóma um verknað fyrri kynslóða á okkar forsendum einum saman. Allt fram yfir 1970 var landinu skipt í afmörkuð raforkuvinnslu- og orkuveitusvæði, sem höfðu takmarkað svigrúm til orkuöflunar. Nú gegnir öðru máli þegar allt landið er orðið eitt raforkuvinnslusvæði. Hönnun mannvirkja og frágangur við orkuver þykir almennt hafa tekist vel. Rafmagnslínur eru óhjákvæmilegar og er aukin áhersla á að slík mannvirki falli vel að landslaginu.

Höfum við nýtt hagkvæma orkukosti til að búa í haginn fyrir framtíðina? Svarið er tvímælalaust játandi. Verð á orku til heimilisnota og iðnaðar á Íslandi er almennt með því lágsta sem gerist í nágrannalöndunum. Þetta er raunin þrátt fyrir mun dýrara dreifikerfi og smærri rekstareiningar. Samtímis því að raforka hefur staðið til boða á lágu verði, hafa fjárfestingar verið greiddar hratt niður, og orkufyrirtæki hafa safnað umtalsverðum eignum. Samkvæmt ársreikningum eru eignir Landsvirkjunar metnar á um 30 milljarða umfram skuldir, Hitaveita Reykjavíkur á um 15 milljarða og Rafmagnsveitur ríkisins um 10 milljarða. Landsvirkjun á þar að auki um 30 milljarða í afskrifuðum virkjunum, en mannvirki vatnsaflsvirkjana endast miklu lengur en sem nemur afskriftartíma fjármuna sem festir voru í þeim við byggingu. Af þessu má sjá að helstu orkufyrirtækin eru öflug og ættu að vera vel undir það búin að tryggja orkuöflun landsmanna með hagkvæmum hætti í framtíðinni, jafnvel þótt nýir orkuvinnslukostir verði dýrari en nú er.

Á undanförmum árum hefur raforkunotkun almenningsrafveitna verið svipuð og notkun til stóriðju, en síðustu tvö árin (frá 1996) hefur raforkusala til stóriðju u.þ.b. tvöfaldast vegna nýrra orkusölusamninga. Þessir samningar náðust vegna þess að hægt var að bjóða upp á orku við mjög lágu verði, sem aftur má rekja til þess að verulegur hluti orkunnar fékkst með tiltölulega ódýrum aðgerðum til að nýta betur virkjaðar orkulindir. Lágt orkuverð skiptir miklu um hvort hér eru stofnsett orkukrefjandi iðnfyrirtæki. Það er því eðlilegt að spurt sé hvort við ákvörðun um orkusölu til slíkra fyrirtækja sé gætt að framtíðarhagsmunum almennra kaupenda. Er mögulegt að almenningur þurfi í framtíð-

inni að greiða hærra verð fyrir raforku vegna þess að ódýrum orkukostum er ráðstafað til stóriðju? Þetta er spurning, sem hefur reynst erfitt að fá einhlítt svar við. Í lögum um Landsvirkjun (nr. 42/1983, 13. gr) eru ákvæði þess efnis að sérsamningar um sölu raforku til stórra orkukaupenda megi ekki verða til þess að hækka orkukostnað í almenna raforkukerfinu umfram það sem annars hefði orðið. Þetta ákvæði segir að samningur um orkuverð til stóriðju megi ekki vera íþyngjandi fyrir þriðja aðila þá er hann er gerður. Þetta er erfitt að meta, m.a. vegna þess að ekki er gott að segja fyrir um það nákvæmlega, hver yrði kostnaður af orkuöflun, ef ekki væri hægt að nýta hagkvæmasta kostinn fyrir almennan markað vegna smæðar markaðarins. Auk þess er hugsanlegt að hagsæld í landinu og kaupgeta almennings aukist vegna samninga við stóra orkukaupendur. Virðisaukinn getur átt sér margar leiðir inn í hagkerfið (sjá t.d. Pál Harðarsson 1998). Að lokum má minna á að sérsamningar um orkusölu, eins og samningar við stóriðjufyrirtæki, eru tímabundnir og uppsegjanlegir og binda því ekki hendur orkufyrirtækja þegar fram í sækir.

Í umræðum hefur nokkuð borið á gagnrýni á þá almennu reglu að nýta fyrst hagkvæmstu orkulindirnar. Þetta er þó sú regla sem öll hagkerfi fylgja og tryggir betur en annað jöfnuð milli kynslóða sé þess gætt að dreifa afrakstrinum og nýta hann til að anna eftirspurn komandi kynslóða á sem hagkvæmastan hátt. Og spyrja má hverju menn væru t.d. bættari hér á höfuðborgarsvæðinu, ef Hitaveita Reykjavíkur hefði virkjað Nesjavelli fyrst, en geymt lághitasvæðin í Reykjavík og Mosfellsbæ til síðari tíma af því að það væri svo hagkvæmt að nýta þau. Þetta leiðir einnig hugann að fleiri þáttum sem taka þarf tillit til. Lítil markaður í örum vexti þarfnast orkuvinnslusvæðis sem hægt er að vinna í hæfilegum áföngum. Umrædd lághitasvæði hafa þá eiginleika að auðvelt var að auka þar orkuvinnslu með hagkvæmum hætti í takt við stækkun markaðarins.

Það leiðir af þeirri almenn reglu að nýta fyrst þær orkulindir sem eru ódýrastar eða hagkvæmastar miðað við aðstæður, að með tímanum verður orkuöflun dýrari. Sú var raunin þegar Hitaveita Reykjavíkur hafði fullnýtt afköst lághitasvæðanna í nágrenninu og flutti orkuöflunina á Nesjavelli. Þrátt fyrir að verð á varmaorku frá Hitaveitunni hafi verið með því lægsta sem gerðist hérlendis, byggði fyrirtækið upp sterka eiginfjárstöðu og stóð undir öllum undirbúningskostnaði og hluta af byggingu orkuversins af rekstrarfé og uppsöfnuðum afrakstri, enda fundu viðskiptavinir fyrirtækisins lítið fyrir að skipt var að hluta yfir á orkulind þar sem vinnslukostnaður var miklu hærri en frá lághitasvæðunum í Reykjavík og Mosfellsbæ. Þetta er gott dæmi um sjálfbæra þróun í orkuöflun.

Með því að byggja fyrst ódýrustu virkjanirnar má halda lágu meðalverði þrátt fyrir að síðari virkjanir verði talsvert dýrari, ekki síst eftir að búið er að afskrifa þær.

5.3 Orkunýtni

Ný orkuvinnsla helgast af aukinni eftirspurn, sem bæði getur átt rætur að rekja til fjölgunar þjóðarinnar og hagvaxtar, auk sérstakra aðgerða til að afla nýrra markaða. Samkvæmt orkusþá eykst almenn raforkuþörf um 50-60 GWst/ári, og til þess að anna henni þyrfti t.d. eina Blönduvirkjun tíunda hvert ár eða eina 20 MW háhitavirkjun annað hvert ár. Þeir samningar sem nú þegar hafa verið gerðir, og varða stækkun núverandi iðju-

vera, gætu haft í för með sér virkjanir með um 2700 GWh/a orkugetu.

Hvað sem líður aðgerðum til orkusparnaðar, verður ekki til lengdar komist hjá því að auka framboð á raforku, en til þess að slíkt hafi sem minnst umhverfisáhrif má lengi bæta nýtni þeirra orkulinda sem nýttar eru. Fyrir því eru veigamikil rök að almennt eigi að fullnýta vatnsföll sem eru tekin til orkuvinnslu áður en farið er á ný orkuvinnslu-svæði. Framkvæmd slíkra meginreglna er þó ávallt háð ýmsum annmörkum. Þar til má bæði nefna sjónarmið um hagkvæmni og náttúruvernd. Þó að t.d. vatnsfall hafi í heild sinni og almennt verið talið heppilegt til orkuvinnslu, kann hluti vatnasvæðisins eða vatnsfallsins að hafa verndargildi eða vera óhagkvæmt að nýta. Sjónarmið fullvirkjunar á vatnsfalli sem á annað borð verður valið til virkjunar eiga væntanlega eftir að fá meira vægi í framtíðinni, og er þá miðað við komandi tilskipun Evrópusambandsins um vötn og vatnavistkerfi, *Rammatilskipun EB á sviði vatnsmála*. Markmið tilskipunarinnar er annars vegar að stuðla að endurheimt vatnsgæða og náttúrulegra vistkerfa og hins vegar að hamla gegn frekari rýrnun náttúrulegra vistkerfa. Samkvæmt þeirri tilskipun yrði lit-ið svo á, að vistkerfi innan vatnakerfis sem tekur einhverjum breytingum frá náttúrulegu ástandi af mannavöldum falli um a.m.k. einn gæðaflokk jafnvel þótt engin mælanleg breyting verði á lífssamfélögum vistkerfisins.

Af ýmsum ástæðum sem rædd voru í 3. kafla verður ekki komist hjá því að haga nýtingu háhitasvæða með nokkuð öðrum hætti, og er talið heppilegt að virkja nokkur vinnslu-svæði í einu.

5.4 Orkusparnaður

Íslensk heimili nota að jafnaði tvöfalt meiri orku en heimili á Norðurlöndunum, og mun-ar þar mestu um heitt vatn. Veðurfar hefur sjálfsagt sitt að segja en einnig að heitt vatn er almennt mun ódýrara hér en þar. Raforkuverð er svipað og á Norðurlöndunum. Orkunotkun hefur farið minnkandi á undanförunum áratugum m.a. vegna betri einangr-unar húsa og orkusparandi tækja.

Allnokkur hluti af mismun á orkunotkun hér og þar verður vart skýrður með öðru en sóun. Hún kann í fyrsta lagi að stafa af lágu verði, í öðru lagi af því að nóg sé af orku og því sé engin ástæða talin til að fara spart með hana og í þriðja lagi af slóðaskap.

Margar hitaveitur hafa byrjað með svonefnt hemlakerfi, en þar er orkunotkun (rennsli) ekki mæld, heldur er hemill á inntaki notenda sem takmarkar hámarksrennsli. Greiðsla notandans er því óháð því hvort hann notar það sem hann þarf eða það sem hann getur. Flestar af þessum hitaveitum hafa nú breytt sölufyrirkomulagi og tekið upp magnmæla í stað hemla. Við það hefur vatnspörf hitaveitna minnkað að meðaltali um 30%. Hita-veita Suðurnesja og hitaveitan á Sauðárkróki nota enn hemla en vonandi verður breyting þar á sem fyrst.

Samdráttur í notkun (eyðslu) við breytingu úr hemlakerfi í magnmæla bendir til þess að upphæð orkureikningsins skipti neytendum máli, en kannske þarf mikið til, því að smá-vægilegar sveiflur í upphæð raforkureikninga landsmanna virðast ekki hafa mikil áhrif á notkun (Arnar Scheving Thorsteinson 1998).

Erlendis hefur sums staðar verið reynt að virkja verðskyn neytenda til orkusparnaðar. Ef hægt er að fá neytendur til að draga úr notkun þegar mest kostar að framleiða orkuna, þá er hægt að verðlauna orkusparnað þeirra sérstaklega með lægra einingarverði á orku. Sérhvert raforkukerfi þarf að miða aflsetningu við hámarksorkunotkun. Í raforkukerfinu eru toppar í notkun á ákveðnum tíma sólarhrings og á ákveðnum árstímum. Kerfið í heild sparar sér mest með því að draga úr þessum toppum, einkum árstíðatoppunum. Þar sem hreinræktuðu markaðskerfi hefur verið komið á fót (spot market) er verðlagning raforku miðuð við álag á kerfið. Reynslan í Englandi og Noregi er sú að slík verðstýring minnki eftirspurn á álagstímum verulega.

Reynslan bendir einnig til að draga megi úr orkunotkun með betri hönnun og betri stýringu á hitakerfum. Einnig ætti að mega gera ráð fyrir að þegar saman fer fræðsla og meiri umhverfisvitund muni draga úr orkunotkun.

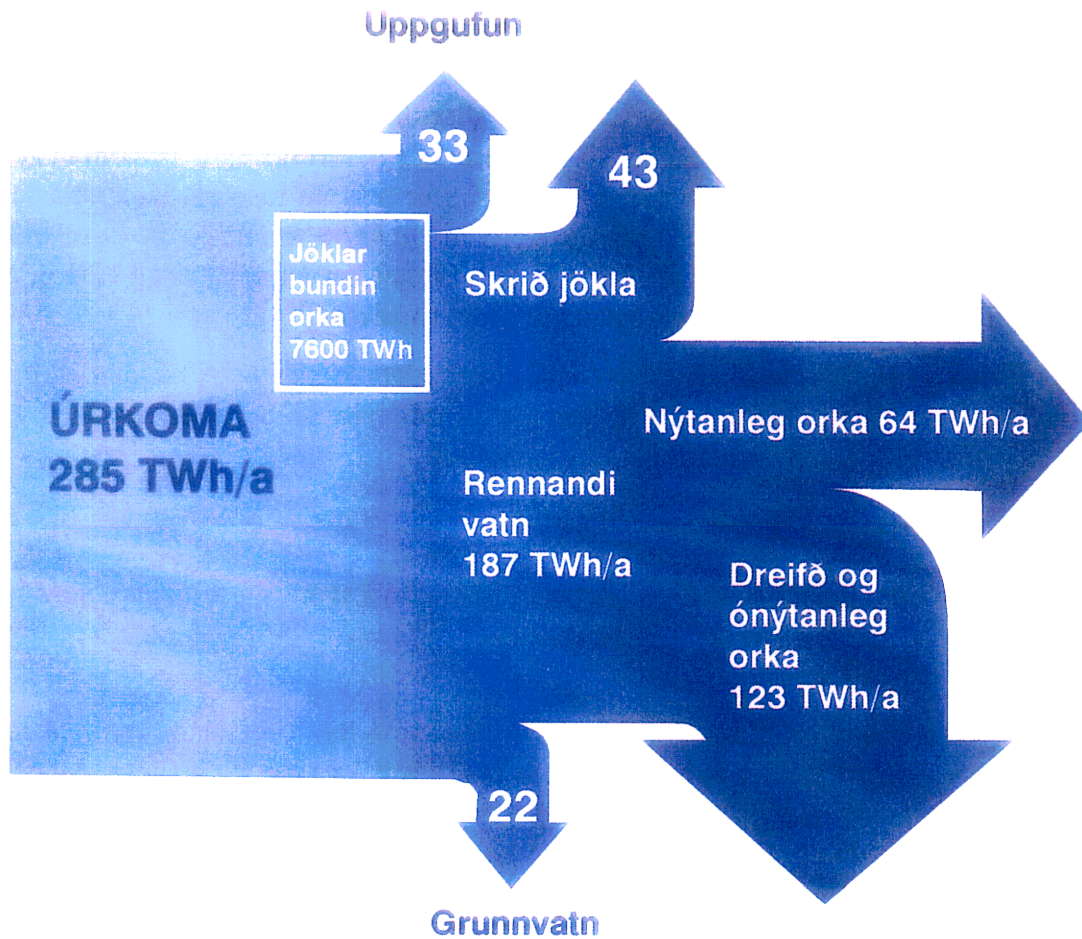
5.5 Orkulindirnar

Er vinnsla orkulindanna sjálfbær? Í megindráttum má svara spurningunni játandi.

5.5.1 Vatnsorka

Vatnsorkan er **endurnýjanleg auðlind** svo lengi sem rignir á Íslandi, og vatn rennur til sjávar. Orkan í úrkomunni er áætluð um 285 TWst/ári (sbr. 1. mynd á bls. 16). Í afrennsli af landinu mætti vinna um 64 TWst/ári af orku með þekktri tækni, en hluti hennar er í svo litlum og dreifðum einingum að vafasamt er að sá hluti verði nokkru sinni nýttur (Haukur Tómasson 1981). Hagkvæm vatnsorka hefur verið áætluð á bilinu 35-40 TWst/ári (Iðnaðarráðuneytið 1994).

Sjálfbær nýting krefst þess að hægt sé að viðhalda óbreyttri vinnslu án þess að ganga á auðlindina. Í þeim skilningi, geta falist vissar takmarkanir í ákveðnum eiginleikum afrennslisins og vatnsfallanna. Vegna áraskipta og árstíðamunar á rennsli er nauðsynlegt að miðla vatni helst bæði milli árstíða og ára. Mörg af helstu vatnsföllum landsins bera með sér mikið af aur, sem kemur til með að setjast til í miðlunarlónum og fylla þau með tímanum. Sá tími sem það tekur er mislangur eftir heildarmagni framburðar. Til dæmis hefur það verið reiknað út að það tæki 300-400 ár að fylla áætluð lón í Jökulsá á Dal, en um 4000 ár að fylla fyrirhugað miðlunarlón í Jökulsá í Fljótsdal á Eyjabökkum. Löngu áður en lónin yrðu full, færi að bera á miðlunartakmörkunum, sem að lokum gæti dregið úr orkuvinnslu og gert virkjunina óhagkvæma, þ.e.a.s. ef ekki tekst að finna annað heppilegt lónstæði. Einnig má benda á þann möguleika að losa aurinn úr lónunum, en til þess þyrfti sennilega bæði að eyða orku til dælingar og hluta af vatninu, sem annars nýttist til orkuvinnslu, til að skola aurnum burt og helst alla leið til sjávar. Þannig getur komið til þess að ekki væri mögulegt að tryggja sjálfbæra nýtingu vikomandi auðlindar (vatnsfalls) til lengdar. Hver eru eðlileg tímamörk við mat á því hvort tiltekin aðgerð teljist stuðla að sjálfbærri þróun? Óhagræði eins og það sem hér er gert að umtalsefni kemur ekki fram í hagkvæmniútreikningum, vegna þess að sá tími sem um ræðir er margfaldur á við afskriftartíma fjárfestinga eða endingartíma vélbúnaðar og tækninnar sem notuð er.



1. mynd: Ferill vatns sem fellur sem úrkoma á landið útfært sem orkuflæði.

Af því sem að framan greinir, vakna ýmsar áleitnar spurningar, svo sem: Hversu lengi endast stíflurnar, og hvað gerist þegar lónin eru orðin full af aur? Gert er ráð fyrir að með eðlilegu viðhaldi muni stíflurnar endast í mörg hundruð ár, eða jafnvel "endalaust". Hvernig lítur landið út þá er lónin eru orðin full? Til þess að meta það má hafa hliðsjón af landi innan við Lagarfljót og á Eyjabökkum, þ.e. flatlendinu sem Jökulsá í Fljótsdal liðast um innan við Eyjabakkafoss, sem er eitt af víðlendum votlendissvæðum hálendisins. Þegar lónin eru orðin full mun aurinn berast óhindrað fram eins og hann gerir nú. Mun það verða talið umhverfisvandamál af þeirrar tíðar Íslendingum? Það er ekki ólíklegt, því að þá hafa menn vanist því í margar kynslóðir að viðkomandi ár beri lítið fram. Þetta vekur athygli á öðru erfiðu álitamáli. Hvernig við getum nú metið hvað er til góðs eða ills fyrir komandi kynslóðir. Hvernig verða hagsmunir komandi kynslóða? Hvernig verður efnahagur þeirra? Þessum spurningum er ógjörningur að svara, en það aftur bendir til þess að það sé ördugt að taka ákvarðanir nú á grundvelli einhverrar framtíðar, sem við höfum ekki hugmynd um hver verður. Miklu líklegra er að með því að hver kynslóð hagi langtímaáætlunum sínum skynsamlega á eigin forsendum, þá sé hagsmuna síðari kynslóða einnig gætt.

Þrátt fyrir þessa annmarka breytir það ekki eðli auðlindarinnar sem endurnýjanlegar. Annmarkarnir helgast af því að þurfi orkuvinnsla að vera í takt við náttúrulegan breytileika rennslisins eftir árstíðum, þá hentar það illa eftirspurn markaðarins, eins og við þekkjum hann nú. Við vitum fátt um hugsanlega þróun hans til lengri tíma lítið. Vel má vera að í framtíðinni megi laga orkuvinnsluna í ríkari mæli að breytileika í rennsli t.d. með orkuberum sem geta geymt raforku, hugsanlega í tengslum við framleiðslu á eldsneyti. Slíkt fyrirkomulag yrði dýrara, þar sem nauðsynlegt yrði að auka afl í virkjunum, sem einungis nýttist að fullu fjórðung úr ári eða svo. Gera má ráð fyrir að orka muni almennt hækka mjög í verði í framtíðinni, þannig að slík orkuvinnsla yrði þrátt fyrir allt hagkvæm.

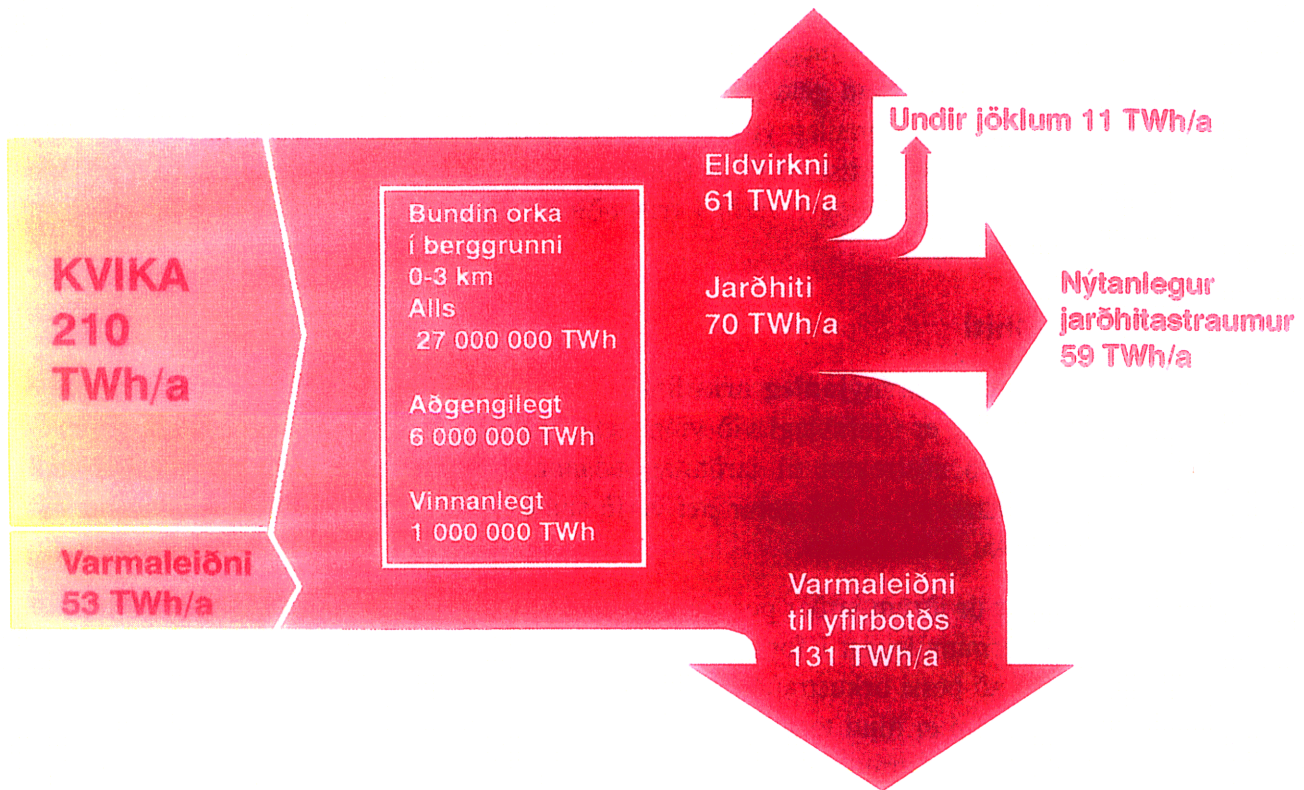
5.5.2 Jarðhiti

Jarðhitaorka er **endurnýjanleg orkulind**. Vinnsla jarðhita er sjálfbær ef aðstreymi til jarðhitasvæðanna er í jafnvægi við vinnsluna. Í mörgum tilvikum hefur aukin vinnsla í för með sér að aðstreymi til jarðhitasvæðanna eykst og nýtt jafnvægi næst á milli vinnslu og aðstreymis. Það getur því verið snúið að ákvarða efri mörk sjálfbærrar nýtingar í einstöku jarðhitakerfi.

Orkustraumur úr iðrum jarðar gerir berggrunninn undir Íslandi óvanalega heitan og birtist okkur eftirminnilegast í formi hvera, lauga og eldgosa. Gunnar Böðvarsson (1982) hefur áætlað að þessi orkustraumur sé um 260 TWst/ári (sjá 2. mynd, bls.18). Af þessum varmastraumi er hluti tengdur eldvirkni, hluti streymir upp undir jökla eða skilar sér sem dreifður varmastraumur til yfirborðs. Eftir standa um 60 TWst/ári, sem telst nýtanlegur jarðhitastraumur (Guðmundur Pálmason o.fl. 1985). Af honum hafa verið nýtt um 14 TWst/ári, aðallega í hitaveitur en einnig í ylraekt og iðnað og til raforkuframleiðslu (Valgarður Stefánsson og Elías B. Elíasson 1998).

Svipað og gildir um vatnsorku eru takmörk fyrir því hve mikið af því sem enn er óvirkjað (um 45 TWst/ári) er nýtanlegt á hagkvæman hátt. Þessi hluti varmastraumsins er dreifður á mörg svæði, bæði lághita- og háhitasvæði, sem hvert um sig getur staðið undir tiltekinni orkuvinnslu, sem oft kann að vera minni en svo að hagkvæmt sé að nýta hann. Mat á tæknilega vinnanlegum jarðvarma er vitanlega háð núverandi tækni og reynslu. Verði tæknilega hægt að nýta varmastraum á sprungubeltinu utan þekktra háhitasvæða á hagkvæman hátt, kann mat á vinnanlegum jarðhita að hækka til muna. Grundvallaratriði er að á hverjum tíma verður að einskorða þetta mat við þekkta tækni og þekkingu á auðlindinni.

Sjálfbæra orkuvinnsla úr jarðhita má nálgast á mismunandi hátt. Í hverju orkuvinnslu-svæði fyrir sig og eða með hliðsjón af varmastraumi inn undir öll nýtanleg jarðhitasvæði. Ef lítið er á hvert háhitasvæði fyrir sig kunna menn að komast að þeirri niðurstöðu að orkuvinnsla verði því aðeins hagkvæm að numið sé meira úr svæðinu en sem nemur náttúrulegri endurnýjun. Reynslan bæði hér og erlendis bendir til að slík niðurstæða sé oftast líkleg. Með öðrum orðum: Hagkvæm orkuvinnsla verður að hluta að byggjast á bundinni uppsafnaðri varmaorku. Sú orka er í heildina margfalt meiri en varmastreymið, og talið er að úr bundinni varmaorku í efstu 3 km jarðskorpunnar sé



2. mynd: Ferill varma úr iðrum jarðar upp undir landið, útfært sem orkuflæði.

mögulegt að vinna allt að 1 milljón TWstundir.

Ef nýta á háhitasvæði til raforkuframleiðslu verður að hafa í huga að umbreyting jarðvarma til raforku skilar aðeins um 10-15% nýtni, ef affallsvatni er fargað á yfirborði. Með niðurdælingu er hægt að skila mestum hluta afgangsvarma inn í jarðhitakerfið aftur. Nýtingarhlutfall auðlindarinnar verður þá mun hærra, þó svo að nýtingin í orkuveri sé aðeins 10-15%. Ef niðurdæling er ekki notuð mundi 40 TWst/ári raforkuvinnsla skila einungis 4-6 TWst/ári. Niðurdæling er einnig mjög æskileg af umhverfisástæðum, þar sem veruleg staðbundin umhverfisáhrif geta hlotist af förgun affallsvatns á yfirborði. Margar aðrar vinnsluáferðir og vinnsluágerðir verða eflaust reyndar. T.d. er talið hagkvæmt að nýta umframorku í vatnsorkukerfinu til að hvíla jarðhitasvæðin hluta úr ári og viðhalda með því hagkvæmum vinnslueiginleikum (Valgarður Stefánsson og Elías B. Elíasson 1998). Erfitt er að meta vinnsluafköst einstakra jarðhitakerfa fyrr en vinnsla er hafin, vegna þess að þau reiknilíkön sem nýtt eru, byggja á upplýsingum um það hvernig einstök vinnslusvæði svara tilteknu varmanámi (vinnslu). Sú reynsla sem hefur fengið af vinnslueftirliti á jarðhitasvæðum bendir til að eftir að ákveðið magn varma (þ.e. vatns sem orkubera) hefur verið numið úr jarðhitasvæði komist á nýtt jafnvægi sem aðeins verður skýrt með því að þrýstingslækkun hafi leitt til aukins varmastreymis til

vinnslusvæðisins, líklega bæði lárétt og úr neðra.

Um tvær leiðir er að velja til að meta vinnslugetu jarðhitasvæða. Hægt er að láta borholur blása nokkur ár og fylgjast með viðbrögðum svæðisins, eða fylgjast með svæðinu í vinnslu. Í samræmi við það hefur verið sett fram hugmynd um að sameina vinnslu og rannsóknir á vinnslugetu. Hún gengur út á að virkja hvert svæði í áföngum. Á öflugum háhitasvæðum er talið heppilegt að hver áfangi yrði 20-30 MW. Slíkir áfangar eru taldir hagkvæmir og engar líkur á að einn slíkur áfangi geti ofgert öflugum háhitasvæði. Hver slíkur áfangi yrði nýttur til að kanna viðbrögð við vinnslu og áætla hagkvæma vinnslugetu háhitasvæðisins (Valgarður Stefánsson 1995). Kostirnir eru ótvíræðir. Þeir fjármunir sem lagðir eru í frumrannsóknir og boranir skila sér fljótt, og lítil hætta er á að virkjun verði af slysn stærrí en sem nemur eðlilegri og hagkvæmri vinnslu úr viðkomandi svæði. Ef hvert vinnslusvæði er virkjað í smáum áföngum til að afla reynslu, þarf að líða nokkur tími frá virkjun eins áfanga til þess næsta. Þessi háttur á vinnslu gerir það að verkum að ekki er æskilegt að miða við fullvirkjun eins svæðis áður en hún yrði hafin á því næsta, heldur þyrfti að virkja nokkur svæði samtímis. Sem stendur eru fjögur háhitasvæði í vinnslu, þ.e. við Kröflu, Námafjall, á Nesjavöllum og í Svartsengi.

Líklegt er að stundum verði talið nauðsynlegt að vinna meiri orku en sem nemur náttúrulegu varmastreymi, og þar með er vinnslan ekki lengur sjálfbær. Það sem gerist er að við vinnslu lækkar vatnsborð og þrýstingur, og verður nauðsynlegum vinnsluþrýstingi ekki haldið við með nýjum borunum nema með alltof miklum tilkostnaði. Vinnslan er ekki lengur hagkvæm og er þess vegna hætt. Orkan er ekki tæmd og sífellt streymir orka úr iðrum jarðar sem með tímanum endurnýjar auðlindina þannig að hún verður vinnanleg aftur, en þetta getur tekið langan tíma.

Bestri nýtni skilar vinnsla úr háhitasvæði ef hægt er að nýta jarðhitann bæði til varma- og raforkuframleiðslu. Það má því færa rök fyrir að fara varlega í að nýta jarðvarma eingöngu til raforkuframleiðslu, þar sem góðar líkur eru á að nýta megi varmann einnig til húshitunar eða iðnaðar, svo sem á Nesjavöllum og í Svartsengi. Þar sem slíkar aðstæður blasa ekki við, svo sem inn til landsins fjarri mannabústöðum er vel þess virði að kanna fjölþættari not, t.d. tengd ferðaþjónustu.

Við á Orkustofnun leggjum áherslu á að jarðhitasvæði verði nýtt með varúð og þau virkjuð eftir vitneskju um vinnslugetu og náttúrulega endurnýjun, og leitað verði leiða til að þau skili hagkvæmri vinnslu svo lengi sem kostur er.

Rannsóknir og þróun aðferða við mat á vinnslueiginleikum eru mikilvægar í þessu skyni.

6. Tilvitnanir

- Arnar Sch. Thorsteinsson 1998. *Hafa verðbreytingar á raforku einhver áhrif á eftirspurn*. B.S. ritgerð í Hagfræði, Háskóli Íslands, 72 bls.
- Guðmundur Óli Hreggviðsson, Sólveig K. Pétursdóttir, Sigurlaug Skírnisdóttir, Viggó P. Marteinson og Jakob K. Kristjánsson 1999. *Rannsóknir á líffræðilegum fjölbreytileika í hverum á Hengilssvæðinu, áfangaskýrsla 2*. Iðntæknistofnun. ITI 99-1/LD01, 13 bls.
- Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur Ingi Haraldsson og Gísli Karel Halldórsson 1985. *Mat á jarðvarma Íslands*. Orkustofnun. OS-85076/JHD-10, 134 bls.
- Gunnar Böðvarsson 1982. Terrestrial energy currents and transfer in Iceland. In Continental and oceanic rifts. Ed. G. Pálmason. *Geodynamics Series 8:271-282*. American geophysical union, Wasington D.C.
- Haukur Tómasson 1981. *Vatnsafl Íslands, mat á stærð orkulindar*. Erindi flutt á Orkuþingi 1981.
- Hrefna Kristmannsdóttir 1997. *Umhverfisáhrif jarðhitánýtingar, uppgjör verksins*. Orkustofnun, OS-97074; 19 bls. + ágríp af erindum á kynningarfundum 2. október 1997.
- Iðnaðarráðuneytið 1994. *Innlendar orkulindir til vinnslu raforku*. Iðnaðarráðuneytið 1994; 153 bls.
- Landsvirkjun 1998. *Nýtanleg vatnsorka á Íslandi og flokkun hennar eftir fjárhagslegri hagkvæmni*. Unnið af Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen hf. Landsvirkjun 1998, 32 bls. og 10 uppdættir.
- Orkustofnun og Náttúruvernd ríkisins 1998. *Rammaáætlun Norðmanna um vatnasvið Samlet plan for vassdrag*. Frásögn af kynnisferð til Oslóar 23.-26. nóv. 1998. OS-skjal 98120011.
- Valgarður Stefánsson 1995. *Jarðhiti til raforkuvinnslu*. *Árbók VFÍ 1993/94*; bls. 233-251.
- Valgarður Stefánsson og Elías B. Elíasson 1998. *Samýting orkulinda*. Erindi flutt á afmælisráðstefnu Orkustofnunar, orkuvinnsla í sátt við umhverfið í október 1997. Orkustofnun, OS-98005; 9 bls.
- Umhverfisráðuneytið 1997. *Sjálfbær þróun í íslensku samfélagi; Framkvæmdaáætlun til aldamóta*. Umhverfisráðuneytið, 48 bls.