



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

# Ársfundur Orkustofnunar 1994

Önnur útgáfa

Reykjavík

Maí 1994



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

# Ársfundur Orkustofnunar 1994

Önnur útgáfa

Reykjavík

Maí 1994

## ÁRSFUNDUR ORKUSTOFNUNAR 1994

Haldinn fimmtudaginn 17. mars kl. 13:30 að Borgartúni 6

### Dagskrá:

- 13:30 *Ávarp iðnaðarráðherra, Sighvats Björgvinssonar.*
- 13:45 *Orkumál og umhverfi.* Jakob Björnsson, orkumálastjóri.
- 14:25 *Vatnsaflsvirkjanir, umhverfisáhrif og umhverfismat.* Hákon Aðalsteinsson líffræðingur.
- 15:05 *Kaffihlé, veggspjaldasýning.*
- 15:25 *Umhverfisáhrif jarðhitanytingar.* Hrefna Kristmannsdóttir, jarðefnafræðingur og Halldór Ármannsson, efnafræðingur.
- 16:05 *Umræður.*
- 16:15 *Fundarslit.* Sigbór Jóhannesson, formaður stjórnar Orkustofnunar.
- 16:25 *Veggspjaldasýning.* Boðið upp á léttar veitingar.
- 17:25 *Dagskrárlok.*

Stuttar fyrirspurnir í lok hvers erindis, en umræður að afloknum erindaflutningi.

Fundarstjóri: Haukur Tómasson, forstjóri Vatnsorkudeildar.

Sighvatur Björgvinsson  
Iðnaðar- og viðskiptaráðherra

Ávarp á ársfundi  
Orkustofnunar  
17. mars 1994  
Flutt af ráðuneytisstjóra

## Endurskoðun Orkulaganna

Á undanförunum árum hefur verið unnið að endurskoðun einstakra kafla Orkulaganna. Kaflinn um Rafmagnseftirlit ríkisins var felldur út úr lögunum um leið og sett voru sérlög um það 1979. Á síðustu misserum hefur verið unnið að gagngerum breytingum á starfsemi eftirlitsins. Kaflinn um Jarðboranir ríkisins hefur sömuleiðis verið felldur út úr lögunum, fyrst með stofnun hlutafélags um reksturinn. Síðar hafa hlutabréfin verið boðin til sölu og nú munu hluthafar vera um 500. Frumvarp um Rafmagnsveitur ríkisins sem og frumvörp um eignarhald á auðlindum í jörðu og virkjunarrétt vatnsfalla eru til umfjöllunar í ríkisstjórninni. Í þeim er gert ráð fyrir að felldir verði úr gildi þrír kaflar Orkulaganna, þ.e.a.s. kaflarnir um Rafmagnsveitur ríkisins, um vinnslu jarðhita og um verndun jarðhitasvæða og jarðhitavirki og eftirlit með þeim. Náí þessar breytingar fram að ganga munu standa eftir kaflarnir um Orkustofnun, um vinnslu raforku, um héraðsrafmagnsveitur, um hitaveitur og um orkusjóð. Undirbúningur að endurskoðun þessara kafla Orkulaganna er hafinn.

Orkulögin eru frá 1967 og þeir kaflar sem nú á eftir að endurskoða hafa lítið sem ekkert breyst. Á þessu tímabili hafa orðið grundvallarbreytingar í orkumálum þjóðarinnar. Þegar Orkulögin voru sett sá olfa landsmönnum fyrir meiri hluta þeirrar orku sem þurfti til húshitunar. Nú er hlutur olfunnar milli 2 og 3%. Opinberar hitaveitur í eigu sveitarfélaga voru 7, nú eru þær 29. Auk þess eru nokkrar veitur í eigu einstaklinga. Raforkukerfið á miðjum 7. áratugnum ein- kenndist af mörgum smáum samveitum, sem ekki voru tengdar og þurfti því hvert svæði að vera sjálfu sér nægt. Hlutur olfunnar í raforkuvinnslunni var um 6%. Hann er nú um 0,1%. Um 86% bændabyla höfðu rafmagn, þar af um fjórðungur - yfir 1100 býli - frá eigin rafstöðvum. Nú má heita að allir landsmenn hafi aðgang að rafmagni frá samtengdu raforkukerfi.

Orkulögin voru sett í ljósi þess ástands sem ríkti í orkumálum þjóðarinnar á miðjum sjöunda áratugnum, með það fyrir augum að skapa grundvöll til aukinnar nýtingar innlendu orkulindanna og til að laða að erlenda fjárfestingu. Ég tel að sú stefna sem Viðreisnarstjórnin tók í orkumálum hafi að verulegu leyti skilað þeim árangri sem stefnt var að.

Við endurskoðun orkulaganna nú verður að sjálfsögðu að taka mið af þeim breytingum sem orðið hafa bæði í orkubúskap þjóðarinnar og raunar heimsins alls á síðastliðnum þremur áratugum. Við endurskoðunina verður stefnuskrá ríkisstjórnarinnar - Velferð á varanlegum grunni - höfð að leiðarljósi, en í henni segir meðal annars um orkumálin:

"Lög um orkumál verða endurskoðuð og með því leitast við að auka samkeppni orkufyrirtækjanna og draga úr miðstýringu þeirra og sérstöðu miðað við aðra starfsemi í landinu, m.a. með breyttu eignarhaldi og rekstrarformi. Orkufyrirtækin munu greiða þjónustugjöld til opinberra aðila fyrir rannsóknir, leyfisgjald fyrir orkuvinnslu o.fl. Komið verður á fót virku verðlagseftirliti með þeim þáttum í starfsemi fyrirtækjanna þar sem samkeppni verður ekki við komið."

Í stefnuskránni er þannig með beinum hætti kveðið á um aukna þátttöku orkufyrirtækja í orkurannsóknnum. Það er afar mikilvægt að orkufyrirtækjum sé þetta ljóst. Þegar Orkulögin voru sett var eðlilegt að ríkissjóður legði verulegt fé til undirbúningsrannsókna vegna nýtingar orkulindanna. Rannsóknir á vegum Orkustofnunar hafa átt drjúgan þátt í því að skapa grundvöll fyrir nýtingu orkulindanna í samræmi við það hlutverk sem stofnuninni var fengið með Orkulögnum. Nú er fjárhagur orkufyrirtækjanna yfirleitt tiltölulega góður (að minnsta kosti miðað við stöðu ríkissjóðs). Til þess að tryggja að fullnægjandi sérþekking sem þau þurfa á að halda á öllum sviðum orkumála sé ávallt fyrir hendi verða orkufyrirtækin að axla auknar byrðar.

Nefnd sem starfaði á vegum Iðnaðarráðuneytisins á árunum 1987 og 1988 taldi að aðskilja beri rannsóknir og selda þjónustu orkufyrirtækja frá ráðgjöf við stjórnvöld, og stofna sjálfseignarstofnun um rannsóknarþáttinn. Tillögur nefndarinnar voru lagðar til hliðar á sínum tíma meðal annars vegna þess að ekki þótti rétt að gera breytingar á rekstrarformi stofnunarinnar í ljósi þess átaks sem talið var nauðsynlegt að gera til að tryggja að ónógur undirbúningur tefði ekki áform um frekari nýtingu orkulindanna til atvinnuuppbyggingar.

Tillögur nefndarinnar voru geymdar en ekki gleymdar og hafa þær verið til umfjöllunar í ráðuneytinu og ríkisstjórn á liðnu ári. Rætt hefur verið um að skipta stofnuninni upp í tvennt: Annars vegar Orkustofnun sem yrði stjórnarsýslustofnun ríkisins er fari með yfirumsjón með orkumálum landsmanna. Hlutverk hennar yrði meðal annars að fylgjast með þróun orkumála, vera stjórnvöldum til ráðuneytis, hafa forgöngu um gerð áætlana í orkumálum og síðast en ekki síst móta tillögur um verkefni ríkisins á sviði orkurannsókna. Hins vegar verði stofnað hlutafélag um orkurannsóknir. Gert er ráð fyrir því að ríkissjóður leggi rannsóknarbúnað o.fl. fram sem hlutafé og kaupi rannsóknir af félaginu fyrir milligöngu Orkustofnunar, jafnframt sem þess verði farið á leit við orkufyrirtæki landsins að þau yrðu meðeigendur í félaginu og leggðu fram hlutafé. Hugmyndir þessar voru kynntar forráðamönnum nokkurra orkufyrirtækja á síðastliðnu ári, en því miður urðu undirtektir þeirra dræmari en vænst hafði verði.

Við þá endurskoðun sem nú er að hefjast á Orkulögnum verður þetta mál tekið upp að nýju. Ég vil þó streka að það hlýtur að draga úr hlut ríkisins í orkurannsóknnum og ríkissjóður einn getur ekki tryggt að fyrir hendi sé ávallt næg færni og þekking á öllum sviðum orkurannsókna. Hlutur orkufyrirtækjanna verður að aukast.

Að lokum vil ég nefna að við endurskoðun þeirra kafla orkulaganna sem fjalla um orkuvinnslu, orkuflutning og orkudreifingu þarf auðvitað að taka mið af því ástandi sem er í orkubúskap Íslandinga nú. Það þarf að taka afstöðu til fjölmargra grundvallarspurninga. Meðal þeirra eru:

1. Á forræði í orkumálum að vera áfram í höndum Alþingis, iðnaðarráðuneytis og sveitarfélaga?
2. Eiga orkufyrirtæki að vera áfram í eigu sveitarfélaga og ríkis eða á að gefa einstaklingum og félögum kost á að eiga hlut í orkufyrirtækjum?
3. Á að ákveða skiptingu orkuveitusvæða með einhverjum hætti í lögum? Á t.d. að skilyrða einkaleyfi við að sameina megi litlar orkuveitur þeim stærri þegar það er talið geta leitt til aukinnar hagkvæmni?
4. Á að skilgreina lágmarksstærð orkuveitna sem lögin taka til t.d. við fjölda íbúa eða notenda, orkusölu o.s.frv?

5. Á að skilgreina lágmarkspjónustustig? T.d. að kveða á um að veitur haldi ávallt uppi neyðarvakt og um upplýsingaskyldu þeirra gagnvart notendum.
6. Á að kveða á um að settar skuli reglur eða staðlar um gæði orkunnar?
7. Á að setja reglur um þær forsendur sem byggja skuli á við ákvörðun orkuverðs?
8. Á að færa staðfestingu á gjaldskrá frá iðnaðarráðuneyti til opinberrar eftirlitsstofnunar?
9. Á að kveða skýrar á um eftirlit með starfsemi orkufyrirtækjanna?

Þegar svara er leitað við þessum spurningum verður eðlilega litið til þeirrar þróunar sem er að verða í orkumálum í heiminum. Aðstæður okkar Íslendinga eru þó að ýmsu leyti aðrar. Ég nefni að fámenni þjóðarinnar setur skorður - litlar rafveitur hjá stórþjóðunum hafa umsvif sem eru svipuð og orkuveitna okkar samanlagt. Raforkukerfi Íslands er ekki tengt raforkukerfum annarra þjóða. Hlutur olfu og kola í orkubúskap Íslendinga er óvenjulega lífill og þjóðin ræður yfir miklum orkulindum sem einungis hafa verið virkjaðar að litlu leyti.

Að mörgu er þannig að hyggja við væntanlega endurskoðun orkulaga. Skiptir þar mestu eins og um alla stefnumörkun að markmiðin séu skýr og ljóst hvert ferðinni skuli heitið.

# Orka og umhverfi

Jakob Björnsson, orkumálastjóri

## 1. INNGANGUR

Í þessu erindi mínu mun ég fyrst, venju samkvæmt, rekja í stuttu máli starfsemi Orkustofnunar á árinu 1993. Ég læt mér nægja að drepa á það helsta þar, en vísa ykkur að öðru leyti til ársskýrslu stofnunarinnar, þar sem starfsemin er rakin mun ítarlegar. Eftir þetta yfirlit mun ég snúa mér að því efni sem felst í heiti erindisins, sem er að fjalla um samhengið milli orku og umhverfis.

## 2. ORKUSTOFNUN 1993

### 2.1 Vatnsorkurannsóknir

Meginþættirnir í vatnsorkurannsóknum stofnunarinnar á liðnu ári voru annarsvegar almennar vatnamælingar víðsvegar um land og hinsvegar átak í vatnsorkurannsóknum, sem raunar felur einnig í sér vatnamælingar, og miðar að því, eins og ég gat um á síðasta ársfundi, að Orkustofnun hafi um aldamót lokið sínum rannsóknarhluta á virkjunarstöðum með samanlagða vinnslugetu er nemur í kringum 14 000 GWh/a. Hinum síðustu virkjunum á þessum stöðum gæti þá verið lokið á árunum 2010 - 2015. Samstarf er við Landsvirkjun um þetta átaksverkefni.

Þessi orka gæti nýst til að sjá fyrir þörfum nýrra orkufrekra iðnfyrirtækja í landinu sem reist yrðu á þessu tímabili í samræmi við yfirlýst stefnumið stjórnvalda og hugsanlega einnig til útflutnings á raforku um tvo sæstrengi. Ég vek sérstaka athygli á því að við erum hér að ræða um næstu tvo áratugi og megum því ekki láta tímabundið kreppuástand í orkufrekum iðnaði í heiminum rugla okkur í ríminu. Athyglisvert er að í þessari kreppu hefur ekkert komið í ljós sem bendir til að önnur lönd en Ísland muni í framtíðinni þykja betur fallin til að hýsa raforkufrekan iðnað. Fremur hið gagnstæða, ekki síst ef ótti manna við vaxandi gróðurhúsaáhrif reynist á rökum reistur.

Á árinu var endurskoðuð hugmynd um virkjun Efri-Þjórsár með veitu til Þórisvatns, unnið að forathugun og kerfisgreiningu á virkjanlegu vatni í Hraunavirkjun, lokið yfirlitsjarðfræðikortlagningu á 40 km jarðgangaleið Merkigilsvirkjunar í Eystri-Jökulsá og könnuð jarðgangaleið undir mynni Norðurárdals vegna hugsanlegrar stærri virkjunar en áður voru hugmyndir um við Villinganes í Skagafirði. Haldið var áfram mati á mögulegum leiðum til virkjunar Jökulsár á Fjöllum og Jökulsár á Brú og þær bornar saman. Unnið var áfram að jarðfræðikortlagningu á svonefndum Fjallgördum við og sunnan Þríhyrningsdals. Lokið var við mat á áhrifum þessara virkjana á strandlínur í Óxarfirði og við Héraðsflóa og áfram safnað myndum af Dettifossi við mismunandi rennsli. Undirbúin var kynning á þessum virkjunarhugmyndum á vegum Iðnaðarráðuneytisins á Hallormsstað í júní 1993. Þá var lokið við forathugun á virkjun vatna af Glámuhálendinu í einu lagi niður í Hestfjörð, mælakerfið á vatnasviðum Síðuvatna, milli Mýrdalsjökuls og Vatnajökuls, var styrkt og byrjað að skoða möguleika til virkjunar í Hvítá ofan Gullfoss.

Tekið var í notkun á árinu rennslismælitæki af nýrri gerð sem keypt var í samvinnu við Landsvirkjun, svonefnd straumslú, eða hljóðbylgjustraummælir. Unnið var að hönnun á nýju gagnavinnslukerfi vatnamælinga sem verður sameiginlegt fyrir Orkustofnun og Landsvirkjun og tekinn í notkun sjálfvirkur búnaður til hnitunar á blöðum úr vatnshæðarmælum.

Söluverk voru unnin fyrir Landsvirkjun, Vegagerð ríkisins, sveitarfélög víða um land, Vita- og hafnarmálastofnun og sveitarfélögin á höfuðborgarsvæðinu.

## 2.2 Jarðhitarannsóknir

Af eigin jarðhitarannsóknum stofnunarinnar bar hæst á árinu 1993 átaksverkefni í rannsókmun á virkjun jarðhita til raforkuvinnslu sem unnið er í samstarfi milli Orkustofnunar, Landsvirkjunar, Hitaveitu Reykjavíkur og Hitaveitu Suðurnesja. Það miðar að því að undirbúa virkjun jarðhita í stórum stíl síðar meir og að því að nú í næstu framtíð séu jafnan tiltækir kostir til virkjunar jarðhita sem skjóta má inn í virkjanaraðir sem að öðru leyti samanstanda að mestu af vatnaflsvirkjununum. Árið 1993 var unnið að frumrannsókn á Brennisteinsfjöllum, þar sem viðnámsmælingum lauk á árinu; yfirborðsrannsókn og jarðfræðikortlagningu við Torfajökul; fram var haldið hagkvæmniathugun á virkjun í Bjarnarflagi og safnað gögnum víðsvegar um land til mats á svonefndum forðafræðistuðlum, en þeir ráða miklu um vatnsgæfni háhitasvæða og þar með um hagkvæmni virkjana þar.

Á árinu var fram haldið rannsókn á umhverfisáhrifum af vinnslu jarðhita, samvinnuverkefni Orkustofnunar og helstu nýtenda háhita á Íslandi, sem eru hinir sömu og ég taldi upp rétt áðan. Auk þeirra á Umhverfisaráðuneytið fulltrúa í samstarfsnefnd um þetta verkefni. Áherslan er á háhitunum í þessu verkefni sökum þess hve umhverfisáhrif af vinnslu lághita eru miklu minni, enda þótt honum sé ekki gleymt heldur.

Þróun tækja og rannsóknaraðferða er mikilvægur þáttur í jarðhitarannsóknum Orkustofnunar. Árið 1993 var lokið við smíði á nýrri gerð tækja til viðnámsmælinga í borholum og smíðuð tæki til að mæla varmaleiðni í bergsýnum; keyptur var mælir til samfelldra þrýstingsmælinga í borholum og endurbætt voru ýmis forrit sem notuð eru við úrvinnslu jarðhitarannsókna.

Af söluverkum er helst að nefna reglubundið vinnslueftirlit hjá hitaveitum og öðrum nýtendum jarðhita víðsvegar um land, þ.e. að fylgst var með efnasamsetningu borholuvökva, hita, þrýstingi og magni vökva sem tekinn var úr borholum, að verulegu leyti með búnaði sem þróaður hefur verið á Orkustofnun. Fyrir Hitaveitu Suðurnesja var unnið að tilraunum til að halda útfellingum í skefjum og með að dæla þéttivatni niður í jarðhitasvæðið aftur. Við þær var m.a. notaður gagnasöfnunarbúnaður sem þróaður hefur verið á Orkustofnun. Í samvinnu við Berkeleyháskóla í Kaliforníu var gert nýtt reiknilíkan af Nesjavöllum fyrir Hitaveitu Reykjavíkur. Ráðgjöf var veitt Hitaveitu Reykjavíkur við borholumælingar á lághitasvæðum og við að kortleggja ástand borhola á þeim. Fyrir Hitaveitu Akureyrar var unnið að yfirgripsmiklum rannsóknum á jarðhitasvæðinu á Laugalandi á Þelamörk.

Í samvinnu við Háskóla Íslands og Háskólann í Bergen tók Orkustofnun þátt í endurkastsmælingum við Kröflu sem miðuðu að því að rannsaka þró með bráðinni bergkviku sem talin er liggja undir háhitasvæðinu þar. Úrvinnsla stendur yfir. Í Öxarfirði voru einnig gerðar endurkastsmælingar til að mæla þykkt og innri gerð setlaga þar, en í þeim hefur fundist vottur



af jarðgasi. Þær voru gerðar fyrir sérstaka fjárveitingu Iðnaðarráðuneytisins og unnar í samvinnu við háskólana í Bergen og Glasgow. Loks voru gerðar endurkastsmælingar í Hvalfirði fyrir norska ráðgjafa Spalar h.f. og lekt mæld í skáholu sem boruð var inn undir fjörðinn með sérhæfðu tæki sem smíðað var í því skyni.

Fyrir verkefnisstjóra Sameinuðu þjóðanna við jarðhitaverkefni í Uganda voru efnagreind sýni af heitu vatni og gasi þaðan og fyrir Virki-Orkint h.f var unnið að úttekt á jarðhita á Kamtsjatka á Kyrrahafsströnd Rússlands.

Jarðhitaskólinn hafði fleiri nemendur en nokkru sinni fyrr í fimmtán ára sögu sinni, eða 14 frá 8 löndum.

### 2.3 Orkubúskaparrannsóknir

Gagnasöfnun um orkumál og úrvinnsla úr þeim var með hefðbundnum hætti. Að venju annaðist Orkubúskapardeild samskipti um íslensk orkumál við alþjóðasamtök og -stofnanir á orkusviðinu, svo sem NORDEL og nefndir á vegum norrænu ráðherranefndarinnar, Sameinuðu þjóðirnar, OECD, IEA, Alþjóðlega orkuráðið (WEC) og fleiri. Deildin vann eins og áður fyrir Orkuspárnefnd við undirbúning undir orkuspár. Talsvert af þeirri vinnu var keypt að. Á árinu var raforkuspáin endurreiknuð út frá nýjustu reynslutölum, en án þess að forsendur væru endurskoðaðar frá spánni sem kom út 1992. Unnið var að nýrri jarðvarmaspá. Ennfremur var unnið að undirbúningi undir útgáfu á skýrslu um bilanir í raforkukerfinu sem Orkubúskapardeild hefur skráð reglubundið um nokkurra ára skeið eftir upplýsingum frá rafveitum og raforkuframleiðendum og í samráði við þá.

### 2.4 Fjármál

Bókfærð útgjöld Orkustofnunar á árinu 1993 námu 357 milljónum króna, sem samsvarar 10,0 % lækkun að raunvirði frá árinu áður. Fjárveitingar námu 221,5 milljónum króna og lækkuðu þær að raunvirði um 11,8 % frá fyrra ári. Sértekjur námu 161,2 milljónum og hækkuðu þær að raunvirði um 6,5 % frá fyrra ári. Er sú hækkun mest að þakka áðurnefndu verkefni vegna Hvalfjarðarganga. Höfuðstóll stofnunarinnar var í árslok 1993 jákvæður um 10,1 % af rekstrartekjum ársins borið saman við 3,3 % í árslok 1992 og 1,8 % í árslok 1990.

## 3. ORKA OG UMHVERFI

### 3.1 Auðlindir almennt og umhverfi

Um nærfellt þrjú tugi ára hafa umhverfismál svonefnd verið mikið til umræðu um allan heim. Hún á rót sína í ótta manna um að umhverfi mannsins hér á þessum hnetti sé í hættu vegna athafna hans sjálfs. Þessi ótti, sem er útbreiddastur í iðnríkjum Vesturlanda, og raunar að mestu takmarkaður við þau ennþá, er til kominn vegna sívaxandi tæknigetu mannsins annarsvegar og gífurlegrar fólksfjölgunar á jörðinni á þessari öld hinsvegar. Meðal fátækari hluta mannkynsins, sem telur um tvo þriðju jarðarbúa, hverfur þessi umhverfisótti hinsvegar

ennþá mjög í skuggann af áhyggjum um efnahagslega afkomu; jafnvel af áhyggjum af hvort nokkuð sé til í næstu máltíð.

Stóraukin tækni mannsins og fólksfjölgunin hefur haft í för með sér að hverskonar náttúruauðlindir eru nú nýttir víðar og í stærri stíl en nokkru sinni fyrr í sögu mannkynsins. Málmar í jörðu; orkulindir hvers konar, skógar, land til ræktunar og fiskurinn í sjónum og vötnum; allt eru þetta dæmi um slíkar náttúruauðlindir. Við Íslendingar þurfum ekki annað en að líta til þorsksins á Íslandsmiðum til að vera óþyrmilega minnt á þetta.

## 3.2 Orkulindir og umhverfi

### 3.2.1 Inngangur

Orkulindir eru meðal mikilvægustu náttúruauðlinda sem maðurinn nýtir. Það hefur hann gert allt frá því honum lærðist að kveikja eld. Jafnlengi hefur þessi nýting haft áhrif á umhverfið. Sum þessara áhrifa eru neikvæð. Þar getum við Íslendingar minnst eyðingar skóga hér á landi á umliðnum öldum. Einnig þess að í gömlu hlóðældhúsunum sátu formæður okkar og börn þeirra í ryki og reyk frá brennslu á hrísi, mó og taði, miður hollum. Svipað gera stallsystur þeirra í þriðja heiminum í dag. Notkun á húsdýraáburði þar eykur á matvæslaskortinn með því að ræna jörðina nauðsynlegum áburði. Skógareyðing er þar líka víða gífurleg. Hún hefur sífellt orðið alvarlegri með ört vaxandi fólksfjölda í þessum löndum.

Iðnvæðingin svonefnda hófst á Englandi á síðari hluta 18. aldar. Þá hófst tækniþróunin sem staðið hefur óslitið síðan og þá var byrjað að vinna kol úr jörðu. Vegna eyðingar skóga á Englandi, bæði til eldiviðar og vegna þess að land var brotið til akuryrkju, var eldiviður orðinn dýr. Talið er að það hafi átt sinn þátt í að vinnsla hófst á kolum. Þar höfum við sígilt dæmi um að ein orkulind leysir aðra af hólmi án þess að hin fyrri sé uppurin; dæmi sem vert er að muna eftir þegar rætt er um "tæmingu" á helstu orkulind nútímans, olíunni. Um hundrað árum síðar, undir lok níttjándu aldar, hófst vinnsla á jarðolíu og virkjun vatnsorku til raforkuvinnslu. Snemma á þessari öld bættist svo jarðgasið við sem orkulind og kjarnorkan á 6. áratug þessarar aldar. Nýting jarðhita á nútímavísu hófst einnig á þessari öld sem og nýting vindsins til raforkuframleiðslu.

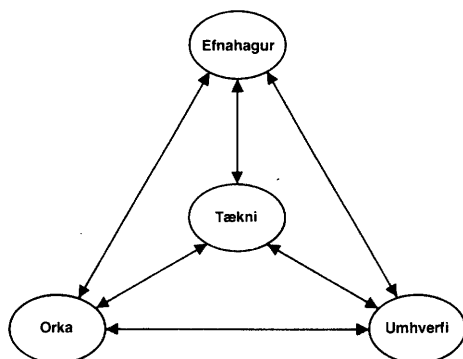
Lengi framan af, raunar langt fram eftir þessari öld, gáfu menn lítinn gaum að áhrifum orkuvinnslu og orkunotkunar á umhverfið, enda voru þau miklu minni en nú sökum þess hve orkuþörfin var lítil á okkar mælikvarða. Hér er athyglisvert atriði á ferðinni: **Umhverfisáhrifa af nýtingu orkulindar gætir ekki að marki fyrr en sú nýting er orðin í allstórum stíl.** Þetta er nauðsynlegt að muna þegar rætt er um að nýta nýjar orkulindir í framtíðinni. Vaxandi notkun vindorku á síðari tímum er t.d. farin að hafa í för með sér mun meiri andstöðu en áður við að hafa vindmyllur í nágrenninu. Sum umhverfisáhrifin þóttu meira að segja jákvæð í einn tíma þótt þau þyki það ekki lengur. Í augum atvinnuleysingjans á kreppuárunum hér á Íslandi var kolsvartur reykurinn úr skorsteinum togara og síldarverksmiðja merki framfara og vonar um atvinnu og betri tíma. Einnig þetta er vert að muna á tímum vaxandi atvinnuleysis. Þannig er enn lítið á kolareykinn sumsstaðar í þriðja heiminum þótt hann sé í raun auðvitað ekki merki um annað en frumstæða brennslutækni og óskilvirka orkunýtingu og stundum hirðuleysi.

### 3.2.2 Umhverfisáhrif mismunandi orkulinda

Mismunandi orkulindir hafa margvísleg áhrif á umhverfið í vinnslu, flutningi, dreifingu og notkun. Hér er ekki rúm til að rekja þau áhrif í einstökum atriðum, en í yfirlitinu hér að neðan eru talin þau áhrif sem mestu máli skipta fyrir hverja orkulind um sig. Athygli skal vakin á þeim áhrifum sem þar eru tileinkuð svonefndum "nýjum endurnýjanlegum orkulindum" eins og jarðhita (sem að vísu er ekki ný orkulind í augum okkar Íslendinga enda þótt hann sé talinn það á heimsvísu), vindorku, bylgjuorku, sólarorku og lífrænum efnum. Umhverfisáhrif þessara orkulinda eru annars eðlis en eldsneytistegunda; skyldari áhrifum vatnsorkunnar.

### 3.2.3 Samhengi orku, efnahags og umhverfis

Náið samhengi er milli orku, efnahags og umhverfis. Þau tengsl eru sífellt að verða mönnum æ ljósari. 1. mynd er ætlað að vera einskonar mjög einfaldað líkan af þessu samhengi. Línunum sem tengja saman hornin og þau við miðjuna er ætlað að sýna tengsl. Tæknin er sett í miðjuna vegna þess að hún hefur áhrif á öll hornin.



**1. mynd. Samhengi er milli orku, efnahags og umhverfis. Tæknin hefur áhrif á allt þetta**

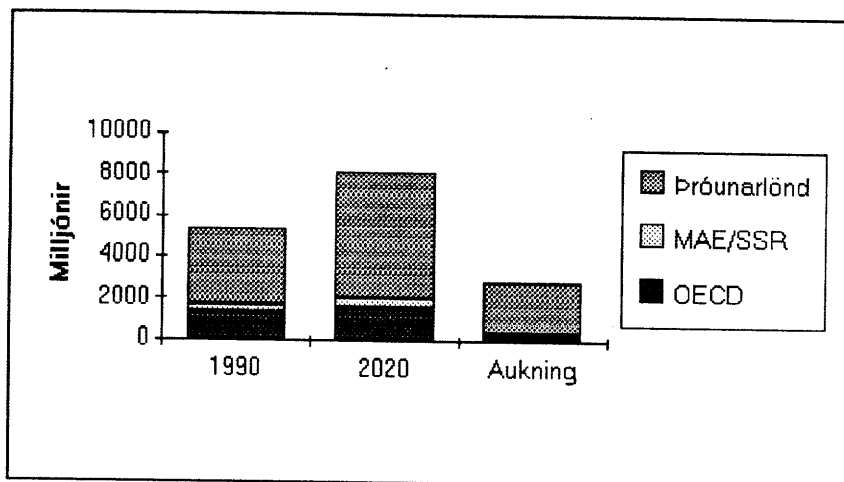
Um langan aldur voru tengslin milli orku og efnahags mikið rædd. Á þeim tíma gleymdist gjarnan þriðja hornið í þríhyrningnum, umhverfið. Allir eru nú sammála um að umhverfið skiptir óneitanlega máli. Á síðari árum hefur staðið umræða um tengslin milli orku og umhverfis. Meðal annars hefur því verið haldið fram að mannum sé nauðsynlegt að draga stórlega úr orkunotkun sinni til að vernda umhverfið. Í ákafa þeirrar umræðu hefur oft aftur gleymst eitt hornið í þríhyrningnum, í þetta skipti efnahagurinn. Sú einsýni er engu betri en hin fyrri. Efnahagurinn skiptir vissulega máli. Nú eru ný viðhorf að ryðja sér til rúms í þessari umræðu. Mönnum er að verða ljóst að það verður að horfa á alla myndina í einu. Nýju viðhorfin felast í heildarsýn fremur en hlutasýn til viðfangsefnisins.

Það eru nefnilega einnig tengsl milli efnahags og umhverfis. Ef við eyðileggjum umhverfið hrynur efnahagurinn fyrir en varir. En gott og heilnæmt umhverfi er dýrt og traustur efnahagur er því forsenda þess. Snauður maður hugsar ekki um umhverfið en hann getur auðveldlega skemmt það eða eyðilagt. Við Íslendingar eyddum skógunum að langmestu leyti meðan við vorum fátæk. Hið sama gerir fólk í þróunarlöndunum í stórum stíl enn í dag. Gott og heilnæmt umhverfi er í rauninni sem stendur einn lúxus okkan hinna ríku í heiminum. Aðrir hafa ekki efni á því.

Nákvæmlega þetta viðhorf túlka fulltrúar þróunarlandanna á alþjóðlegum ráðstefnum um umhverfismál og orkumál. Í þeirra augum eru umhverfismálin viðfangsefni hinna ríku, iðnríkjanna. Þeirra stóra vandamál er hinsvegar fátæktin.

Gott dæmi um þessi nýju viðhorf er nýleg úttekt á orkumálum heimsins fram til 2020 sem unnin hefur verið að undanfögnu af Alþjóðlega orkuráðinu; samtökum 99 ríkja, sem Ísland á einnig aðild að. Samtök þessi, sem verða sjötíu ára á þessu ári, hafa raunar á mörgum undanföngum áratugum sent frá sér margvíslegar athuganir á orkumálum heimsins eða einstakra hluta hans. En engin þeirra hefur verið unnin í jafnvíðtæku samhengi og þessi. Niðurstöður hennar birtust í september á síðasta ári í bók sem ber heitið "Orka handa heimi framtíðarinnar - raunveruleikinn, raunkostir og leiðin til árangurs".

Úttektin er reist á mannfjöldaspá Sameinuðu þjóðanna sem gerir ráð fyrir að á 30 ára tímabilinu 1990 - 2020 fjölgi íbúum jarðar um 2,8 milljarða eða um rúmar 90 milljónir á ári að meðaltali, úr 5,3 milljörðum 1990 í 8,1 milljarða 2020. Um 87 % þessarar fjölgunar er talinn muni verða í þróunarlöndunum sem svo eru kölluð nú. (Sjá 2. mynd). Þessi mikla fólksfjölgun er meginorsök þess vanda sem við verður að glíma á næstu áratugum við að samhæfa efnahagslegar framfarir í þessum löndum og vaxandi notkun orku þeim samfara við verndun umhverfisins.



2. mynd. Mannfjöldi á jörðinni 1990 og 2020 samkvæmt spá Sameinuðu þjóðanna, og fjölgun frá 1990

[MAE/SSR = Mið- og Austur-Evrópa og Samveldi sjálfstæðra ríkja]

Hér er ekki rúm til að rekja niðurstöður þessarar úttektar í einstökum atriðum, heldur verð ég að stikla á stóru. Skoðuð voru fjögur mismunandi tilvik, einskonar sviðsmyndir af stöðunni 2020, út frá mismunandi forsendum. Eitt lagði höfuðáhersluna á hagvöxt í þróunarlöndunum, og nefndist hávaxtartilvik, annað á verndun umhverfisins, ekki síst takmörkun á losun svonefndra gróðurhúsalofttegunda, og nefndist það vistknúði tilvik. Hið þriðja þræddi nokkuð bil beggja milli þeirra tveggja og nefndist viðmiðunartilvikið og má líklega teljast sennilegasta sviðsmyndin af stöðunni 2020. Raunar var eitt slíkt millitilvik í viðbót, svonefnt breytt viðmiðunartilvik. Ég takmarka frásögnina við hávaxtartilvikið og vistknúna tilvikið.

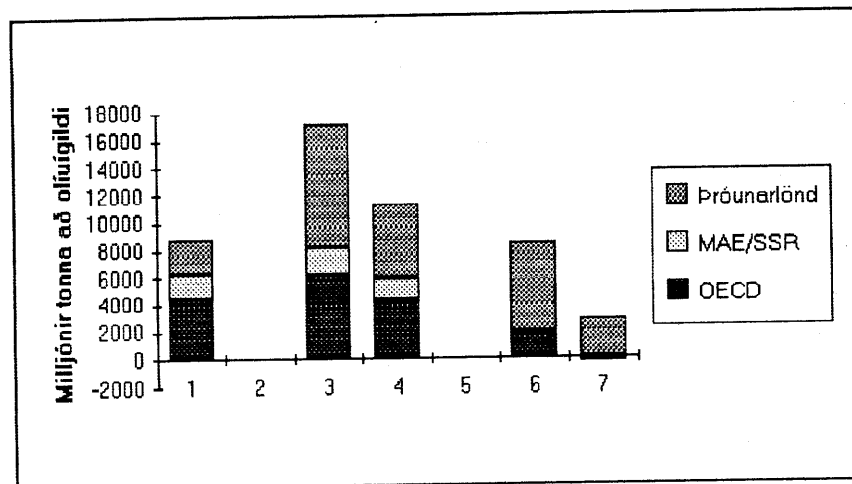
Hávaxtartilvikið reiknar með meiri hagvexti en hin tilvikin í þróunarlöndunum núverandi. Í

iðnríkjunum er hagvöxturinn hinsvegar hinn sami í öllum tilvikum; nálægt helmingur af því sem hann er í þróunarlöndunum. Í hávaxtartilvikinu yrði landsframleiðsla á mann í þeim löndum árið 2020 um 33 % hærrí en í hinum, en landsframleiðsla á mann er nokkuð góður mælikvarði á efnahagsleg lífskjör. Landsframleiðsla á mann í þróunarlöndunum árið 2020 yrði í hávaxtartilvikinu um 50 % af því sem hún var í OECD-löndunum 1990 að meðaltali, en 38 % af því í hinum tilvikunum. Samt breiðkar bilið, reiknað í krónum á mann, milli OECD-landanna og þróunarlandanna frá því sem það er nú þrátt fyrir mun hægari hagvöxt í iðnríkjunum.

Hávaxtartilvikið leiðir af sér 95 % meiri orkunotkun mannkynsins 2020 en 1990 og 94 % meiri losun á CO<sub>2</sub>. Það kemur illa heim við nýlegar alþjóðasamþykktir - sem iðnríkin hafa raunar fyrst og fremst beitt sér fyrir - um að halda losun á koltvísýringi í skefjum.

Vistknúna tilvikið nálgast það markmið aftur á móti mjög, enda við það miðað. Samkvæmt því eykst orkunotkun mannkynsins um 28 % milli 1990 og 2020 og losun á CO<sub>2</sub> aðeins um 7,5 %.

3. mynd sýnir samanburð á orkunotkun mannkyns 2020 og 1990 samkvæmt þessum tveimur jaðar-sviðsmyndum; hávaxtartilvikinu og vistknúna tilvikinu. 4. mynd sýnir svo samanburðinn á losun á koltvísýringi.

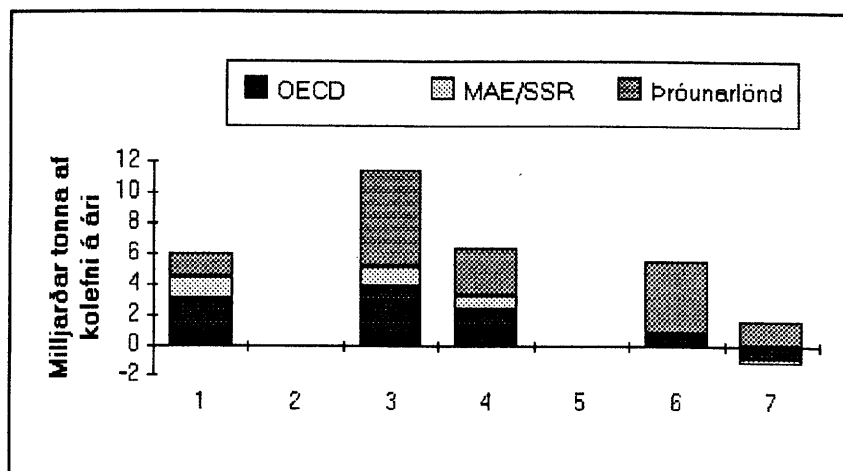


**3. mynd. Frumorkuþörf 1990 (súla 1), 2020 í hávaxtartilviki (súla 3) og vistknúna tilviki (súla 4) og aukning frá 1990 í hávaxtartilviki (súla 6) og vistknúna tilviki (súla 7)**  
[MAE/SSR = Mið- og Austur-Evrópa og Samveldi sjálfstæðra ríkja]

Svo sem myndirnar bera með sér verður langsamlega stærstur hluti aukningarinnar í bæði orkunotkun og losun á CO<sub>2</sub> í núverandi þróunarlöndum, en mjög lítill hluti í OECD-ríkjunum.

Til þess að vistknúna tilvikið geti orðið að veruleika 2020 þurfa að eiga sér stað breytingar á orkumálum heimsins sem margir efast um að geti gengið fyrir sig á ekki lengri tíma en 30 árum. En mestu skiptir líklega að efnahagsleg staða þróunarlandanna yrði samkvæmt því tilviki fjórðungi lakari en samkvæmt hávaxtartilvikinu. Á hvort þessara tilvika er líklegt að

þau leggi mesta áherslu ? Við þurfum tæplega að efast um svarið.



4. mynd. Losun á koltvísýringi 1990 (súla 1) og 2020 í hávaxtartilviki (súla 3) og vistknúnu tilviki (súla 4), og aukning frá 1990 í hávaxtartilviki (súla 6) og vistknúnu tilviki (súla 7)

[MAE/SSR = Mið- og Austur-Evrópa og Samveldi sjálfstæðra ríkja]

Það getur verið holt fyrir okkur í iðnríkjunum, hinum ríku löndum, að velta fyrir okkur eftirfarandi spurningu : Af hvoru stafar mannkyninu meiri hættu : Tvöföldun á losun koltvísýrings og hugsanlegri hækkun hitastigs á jörðinni sem því svarar eða vaxandi efnahagsbili milli ríkra og fátækra á þessum hnetti ? Nú þegar valda efnahagslegir flóttamenn erfiðleikum og átökum í sumum iðnríkjum. Til hverskonar flóttamannastraums og átaka getur það þá leitt ef þróunarlöndin halda áfram að dragast aftur úr iðnríkjunum efnahagslega enn í áratugi ? Er víst að hættan af því fyrir mannkynið verði minni en af hækkun hitastigsins ?

Þessi dæmi ættu að nægja til að sýna svo ekki verður um villst að það er vissulega sterkt samhengi milli efnahags og umhverfis, ekki síst frá sjónarmiði mannkynsins í heild. Og við eigum aðeins þessa einu jörð.

Í athugun Alþjóðlega orkuráðsins, sem ég nú hef skýrt stuttlega frá, er vikið að nauðsyn þess að meta umhverfisáhrif af vinnslu og notkun orku með í vinnslukostnað hennar og þar með í orkuverðið. Sem stendur eru ekki tiltækar aðferðir til þess. Bent er á að þær þurfi að þróa þannig að verð orkunnar til notenda taki einnig mið af þessum áhrifum. En jafnframt er bent á hættuna af að ganga of langt í þessu efni og tefja óhæfilega efnahagsframfarir í þriðja heiminum, en þær eru forsenda fyrir friði á þessum hnetti til langframa. Hvernig halda menn að fari um umhverfið ef friðurinn rofnar ?

Þótt iðnríkin séu komin langt efnahagslega er nokkur hagvöxtur í framtíðinni nauðsynlegur einnig þar þó ekki væri til annars en að standa undir kostnaðinum við að varðveita umhverfi heimsins. Ljóst er að þessi ríki munu bera meginhluta þess kostnaðar. Viðvarandi kreppa eða stöðnun í þessum ríkjum er ekki líkleg til að skapa þann pólitíska vilja sem þarf til að taka þann kostnað á sig.

### 3.2.4 Íslenskar orkulindir og umhverfið

Íslenskar orkulindir eru sem kunnugt er aðeins tvær svo orð sé á gerandi, nefnilega vatnsorka og jarðhiti. Ef litið er á umhverfisáhrif þeirra samkvæmt yfirlitinu sem ég vísaði til áðan er það athyglisvert að þau eru í grundvallaratriðum ólík áhrifum þeim sem fylgja eldsneyti. Vatnsorkunni fylgja engin brennisteins- eða köfnunarefnissambönd sem valda súru regni og engin gróðurhúsagös eins og koltvísýringur eða geislavirkni. Jarðhitnum fylgir heldur ekkert súrt regn eða geislavirkni; háhitavinnslu fylgja að vísu í minniháttar mæli önnur brennisteinsambönd en þau sem brennsla eldsneytis hefur í för með sér, en þau valda engum sambærilegum skaða á við súrt regn. Jarðhitavinnslu á háhitasvæðum fylgir einnig lítilsháttar koltvísýringur, en aðeins brotabrot af því sem fylgir sömu orkuvinnslu úr eldsneyti. Lághitnum fylgja enn minni áhrif. Íslensku orkulindirnar mega því í sannleika kallast hreinar orkulindir í samanburði við eldsneyti. Þrátt fyrir það fylgja þeim, **eins og öllum orkulindum**, viss áhrif á umhverfið. Þau eru talin upp í yfirlitinu og um þau verður nánar fjallað í erindum hér á þessum ársfundum.

Rannsóknir á umhverfisáhrifum vatnsaflsvirkjana hafa nú um tveggja áratuga skeið verið mikilvægur þáttur í rannsóknum Orkustofnunar á vatnsorku Íslands og óaðskiljanlegur hluti þeirra rannsókna eins og fram kemur í erindi hér á eftir. Nú stendur yfir sérstakt átaksverkefni í rannsókn á umhverfisáhrifum jarðhitans, einkum háhitans. Frá því verkefni verður einnig sagt hér á ársfundinum.

Áhrif vatnsaflsvirkjana á umhverfið eru um margt mildari hér á landi en víða annarsstaðar, til dæmis í þéttbýlum löndum og í hitabeltinu. Við þurfum ekki að flytja fjölda fólks frá svæðum sem lögð eru undir miðlunarlón eins og mörg dæmi eru um annarsstaðar frá. Við þ í hitabeltinu. Rotnun gróðurleifa í uppistöðulönnum er hér hverfandi borið saman við það sem gerist í skógi vöxnum heitum löndum og fleiri dæmi mætti nefna.

Þegar á heildina er litið og borið er saman við önnur lönd verður ekki annað sagt en að íslenskar orkulindir séu mjög umhverfisvænar.

Þetta er afar mikilvægt atriði í heimi sem berst við vaxandi mengun og hugsanlega við gróðurhúsavanda í ofanálag. Það gefur okkur færi á að nýta þær í stórum stíl án þess að skaða umhverfið að marki ef vandlega er að því staðið, jafnframt því sem við stuðlum að því að draga úr hugsanlegum gróðurhúsavanda í heiminum. Hann er hnattrænt vandamál, ekki staðbundið eða svæðisbundið, eins og súrt regn. Í því efni er ekkert til sem heitir "minn" og "þinn" garður. Öll jörðin er "okkar" garður. Sem dæmi um áhrif mismunandi orkutegunda á þennan vanda má vísa til 5. myndar, sem sýnir samanburð á losun á koltvísýringi við að framleiða eitt tonn af áli í nýtísku álveri eftir því hvort raforkan til framleiðslunnar er unnin úr kolaorku eða vatnsorku. *Með því að framleiða álið þar sem hægt er að vinna raforkuna til þess úr vatnsorku í stað kolaorku minnkar losun sú á koltvísýringi sem framleiðslunni fylgir um 90 %.* **Reiknað hefur verið út að með því að færa alla framleiðslu á raforkufrekum afurðum í heiminum til þeirra landa þar sem hægt er að vinna raforkuna úr vatnsorku og ekki er markaður fyrir þá raforku til almennra nota má draga úr losun á koltvísýringi í heiminum um 260 milljónir tonna á ári frá því sem hún er nú.** Það er hundrað sinnum það magn af koltvísýringi sem við Íslendingar sleppum árlega út í andrúmsloftið.

# Umhverfismál vatnsaflsvirkjana

Hákon Aðalsteinsson

## 1. Umhverfismat

Könnun á umhverfisáhrifum virkjana hefur verið þáttur í undirbúningi þeirra og þróun hugmynda um virkjunarleiðir um tveggja áratuga skeið. Nýsett lög um umhverfismat (Stjórnartíðindi A, nr. 63/1993) setja rannsóknir á þessu sviði í nýjan farveg, þar sem taka þarf mið af því ferli, sem umhverfismatið segir fyrir um.

Hingað til hefur áhersla verið lögð á vissa meginþætti, sem hafa verið skilgreindir með aðstoð verndarskráa Náttúruverndarráðs, og almennrar þekkingar á því sem talið er mest virði í umhverfinu. Hafi fundist ásættanleg virkjunarlausn miðað við þessa meginþætti, hafa aðrir þættir ekki verið taldir skipta máli. Með tilkomu umhverfismats þarf að hyggja að fleiri þáttum, þótt það breyti sennilega litlu um aðaláherslur.

Markmið laganna er að tryggja að fram hafi farið mat á umhverfisáhrifum framkvæmda í völdasta skilningi áður en tekin er ákvörðun um þær. Þótt lögin kveði fyrst og fremst á um framkvæmdir, þá tryggja þau einnig að slíkt mat verði fastur liður í gerð skipulagsáætlana. Um nánari útfærslu á matinu verður fjallað við endurskoðun Byggingar- og skipulagslaga, sem stendur fyrir dyrum. Í lögum um umhverfismat er lögð áhersla á að almenningur hafi greiðan aðgang að upplýsingum og umsagnarrétt.

Umhverfi í skilningi laganna er nokkuð víðtækt, og í svonefndum gátlista sem er hluti af leiðsögureglum um framkvæmd matsins eru taldir þættir sem varða eftirfarandi:

- Náttúrulegt umhverfi
- Félagslegt umhverfi
- Hagrænt umhverfi
- Stjórnslu

Matskyldar framkvæmdir sem varða nýtingu orkulinda eru eftirfarandi:

- Vatnsaflsvirkjanir með uppsett afl 10 MW eða meira, eða vatnsmiðlanir þar sem meira en 3 km<sup>2</sup> lands fara undir vatn vegna stíflumannvirkja eða breytinga á árfarvegum.
- Jarðvarmavirkjanir með varmafl 25 MW eða meira af hráorku eða a.m.k. 10 MW(e) uppsett afl.
- Lagning háspennulína með 33 kV spennu eða hærri.
- Efnistökuastaðir (malarnám) á landi 50.000 m<sup>2</sup> eða stærri, eða þar sem fyrirhuguð efnistaka er meiri en 150.000 m<sup>3</sup>.

Umhverfismat, eins og það er útfært í reglugerð, er sniðið að mati á framkvæmd, þ.e. hannaðri útfærslu. Matið skiptist í **frumathugun** og **frekara mat á umhverfisáhrifum**.



Frumathugun kann að nægja til að Skipulagsstjóri geti lagt til að framkvæmd verði leyfð, eða hann getur úrskurðað um frekari athugun á framkvæmdinni í heild eða ákveðnum þáttum hennar. Samkvæmt lögunum eru 10 vikur ætlaðar til afgreiðslu skipulagsstjóra á hvoru stigi. Matíð, sem framkvæmdaaðili er sjálfur ábyrgur fyrir, byggist á fyrirliggjandi gögnum, og hann á mikið undir því að til öflunar þeirra sé vandað. Því betri gögn og úrvinnsla, þeim mun minni líkur eru á að úrskurður Skipulagsstjóra verði til að tefja framkvæmdir.

Meðal þess sem gera þarf grein fyrir við umhverfismat er hvaða **aðrir möguleikar voru kannaðir** til að ná sama markmiði, þ.e. greina þarf frá því og skýra af hverju viðkomandi útfærsla var valin til framkvæmdar. Ennfremur er mikilvægt að framkvæmdaaðili geri grein fyrir því hvaða **mótvægisáðgerðir** komi til greina til að draga úr óæskilegum umhverfisáhrifum.

Varðandi undirbúning að umhverfismati er vert að staldra við þrjá þætti, endanlegt **val virkjunarleiðar, gagnaöflun og mótvægisáðgerðir**. Hér á eftir verður tekið dæmi af því hvernig Orkustofnun og virkjunaraðili hafa nálgast tillögur að virkjun Jökulsár á Brú og Jökulsár á Fjöllum (Austurlandsvirkjun), og í leiðinni aflað upplýsinga um náttúrufar, og athugað hvort og hvernig væri hægt að minnka umhverfisáhrif virkjana án þess að stofna hagkvæmni þeirra í hættu.

## 2. Orkustofnun og umhverfismat

Samkvæmt megindráttum í skiptingu ábyrgðar á undirbúningi virkjana sér Orkustofnun um þann þátt undirbúnings sem varðar mat á því hvar hagkvæmt er að virkja, svo og öflun upplýsinga sem auðvelda virkjunaraðila og stjórnvöldum að meta hvaða virkjunarkostir henta best miðað við þann markað sem fullnægja þarf hverju sinni. Þetta undirbúningsstig kallast forathugun. Hönnun virkjunar, þ.e. endanleg tilhögun virkjunar, er á ábyrgð virkjunaraðila. Af þessu leiðir að Orkustofnun er sá aðili sem fyrst og fremst mun nýta sér matsferlið í lands- og svæðisskipulagi, en virkjunaraðilar fyrst og fremst í tengslum við framkvæmd, þ.e. ákvörðun um byggingu.

### 2.1 Undirbúningur á ábyrgð Orkustofnunar

Skipta má forathugunum Orkustofnunar í nokkur stig, þar sem þau fyrri beinast að skilgreiningu á virkjanleika:

- Skilgreining á stöðum í vatnsföllum með rennslisorku yfir tilteknu lágmarki (Haukur Tómasson 1991, Haukur Tómasson og Hákon Aðalsteinsson 1992).
- Líkur á því að einstakir rennslisorkustaðir gefi hagkvæma orku miðað við tiltekna viðmiðun.

Síðari stigin varða frekari rannsóknir á þeim stöðum sem standast viðmiðunarkröfur.

Ýmis ytri skilyrði, svo sem í rennslisháttum vatnsfalla, landfræði, jarðfræði og umhverfi, eru ráðandi um tilhögun og hagkvæmni virkjunar. Þessir þættir eru viðfangsefni í undirbúningsrannsóknum að forathugun virkjunarkosta. Mikilvægt er að nálgast virkjunartilhögun stig af stigi, eins og hér er lýst, og gæta þess að verja ekki miklum fjármunum til kosta, sem eru óhagkvæmir, eða vonlítið að fáist samþykktir. Á sama hátt er mikilvægt að hönnunarferlið, sem er mun fjárfrekara en forathugunarferlið, geti beinst að ákveðinni tilhögun virkjunar, einkum í

verkhönnun, en þar margfaldast undirbúningskostnaðurinn. Það verður best tryggt með vönduðum forathugunum og vel grunduðum ákvörðunum um skipulag, þar sem tekið er á sem flestu er varðar leyfi til framkvæmda síðar.

Mikilvægt er að lög um umhverfismat gefa færi á áfangaskiptingu þegar ákvörðun um staðsetningu og tilhögun virkjana er ákveðin. Í skipulagi ætti því að vera hægt að ákvarða um almenna landnýtingu, þannig að staðsetning helstu mannvirkja orkuvera fái að mestu afgreidd í lands- og svæðisskipulagi.

### 3. Einkenni vatnsaflsvirkjana

Vatnsaflsvirkjanir draga dóm af því að nokkur árstíðamunur er á því hvenær náttúran skilar mestri vatnsorku undan halla landsins og hvenær markaðurinn þarf mesta orku, eins og alkunna er. Misræmið er leyst með miðlun vatns.

Venjulega er **miðlunin** þannig mikilvægasti hluti virkjunar. Aðrir mikilvægir þættir eru **vatna-veitur**, einkum ef veitt er af nálægum vatnasviðum, því að þá er gengið á hlut annarra vatnsfalla. Einnig má nefna **rennislísið frá miðlun til virkjunar**, sjálft **stöðvarhúsið og stöðvarbyggðina**, **spennuvirki og flutningslínur**. Loks má ekki gleyma **raski** því sem fylgir byggingaframkvæmdum. Staðsetning virkjunar er einnig mikilvæg, en flestir bestu virkjunarstaðirnir eru við hálendisbrúnina, en miðlanir og vatnaveitur á heiðum uppi. Stærstu virkjanirnar eru í jökulám, og það á einnig við um þær sem eru í undirbúningi. Rannsóknarþörf er mismunandi eftir aðstæðum á virkjunarstað. Vatnsafl er í grundvallaratriðum ákveðið margfeldi af rennsli og fallhæð. Hagkvæmni þess að beisla þetta afl er m.a. háð þeirri vegalengd sem þarf að veita vatni til að ná sem mestu falli á sem ódýrastan hátt.

Staðhættir ráða þannig mestu um umhverfisrannsóknir sem lúta að virkjun vatnsafls; miðlunar-lónsstæði, veituleið, stöðvarhússtæði og frárennislísið.

**Miðlunarlón:** Á hálendinu eru náttúrulegar aðstæður til miðlunar vatns þar sem lægðir eru í landið, oft framræst forn jökullón. Jarðvatn stendur yfirleitt hærra þar en í nágrenninu, og því eru lónsstæðin oft gróðursælasti hluti svæðisins. Stundum hentar að stækka stöðuvötn sem fyrir eru í nánd vatnsfallsins.

**Veitur:** Grunn daldrög og lægðir, sem oft eru fornir farvegir, henta stundum vel til að veita vatni, t.d. frá miðlunarlóni að inntaki til virkjunar, eða af einu vatnasviði yfir á annað. Um slíkar veituleiðir gildir svipað og um miðlunarlón hvað varðar náttúrufarslegar aðstæður. Upp á síðkastið hafa slíkar veitur verið á undanhaldi, en jarðgöng komið í staðinn. Umhverfisáhrif af veitum neðanjarðar eru eðlilega mun minni en af veitum ofanjarðar.

**Stöðvarbyggð:** Þótt landþörf á stöðvarhússtæði sé oft lítil miðað við t.d. landþörf vegna miðlunarlóna, geta umhverfisáhrifin oft talist mikil, bæði vegna meiri nálægðar við byggð og vegna áberandi mannvirkja. Í seinni tíð hefur færst í vöxt að gera ráð fyrir stöðvarhúsi neðanjarðar.

**Háspennulínur:** Oftast er varanlegt jarðrask af lagningu háspennulína fremur lítið. Mörg dæmi eru hinsvegar um að slíkar framkvæmdir hafi opnað almenningi nýjar leiðir til áður lítt aðgengilegra staða, og hið sama má einnig segja um virkjunarframkvæmdir yfirleitt. Neikvæð áhrif eru fyrst og fremst fólgin í þáttum sem erfitt er að meta og eru líklega viðkvæmari fyrir einstaklingsbundinni upplifun en flest annað sem viðkemur mannvirkjum orkuvera, þ.e. hvernig menn

upplifa útsýni.

**Mannvirki og mannvirkjagerð:** Mannvirkin sjálf eru misjafnlega áberandi, og fer það bæði eftir stærð og legu þeirra í landinu. Stór mannvirki kalla á meira rask t.d. vegna efnisflutninga og efnisnáms en lítil mannvirki. Miklu máli skiptir hvort efnisnám er á svæðum sem sðar fara undir vatn eða utan slíkra svæða. Staðsetning virkjunar skiptir einnig máli, og lítil virkjun í byggð getur verið meira áberandi en stærri virkjun í óbyggðum. Mannvirkjagerðin krefst einnig lands undir vinnubúðir og vegagerð. Mikilvægt er að vanda til frágangs á vinnusvæðum eftir að framkvæmdum líkur.

#### 4. Þættir umhverfisrannsókna

Virkjanir geta haft margvísleg bein og óbein áhrif á náttúrufar í sínu umhverfi.

- Gróðurlendi og það sem því fylgir kann að hverfa undir vatn eða mannvirki eða taka breytingum fyrir áhrif af breyttri grunnvatnsstöðu.
- Ásýnd landsins breytist varanlega.
- Vötn og vatnakerfi taka óhjákvæmilega einhverjum breytingum.
- Svæði sem hafa verið meira eða minna lokuð vegna erfiðs aðgengis geta skyndilega opnast venjulegum farartækjum.

**Gróðurfar:** Vegna núverandi ástands gróðurs og gróðurtaps frá upphafi byggðar á Íslandi, eiga gróðurlendi sem slík, einkum á svæðum þar sem gróður er annars af skornum skammti, sterk ítök hjá almenningi. Gildi gróðurlenda er metið með hliðsjón af því hvort þau bjóði upp á skilyrði fyrir fjölbreytni, sjaldgæfar tegundir eða gróðurhverfi og grósku. Þessir eiginleikar gróðurlenda endurspeгла einnig gildi þess fyrir dýralíf. Mikilvægi gróðurs á hálendinu fyrir búfjárbreit fer minnkandi í takt við samdrátt í sauðfjárrækt.

**Landslag og jarðfræði:** Mat á gildi landslags og jarðgerðar má meta með hliðsjón af jarðsögu svæðisins. Víða setur landmótun jökulhörfunar sterkan svip á landslag. Ennfremur geta menjar gosvirkni átt ríkan þátt í landslagi. Þessa þætti verður að meta annars vegar með samanburði innan svæðisins og hins vegar á landsvísu. Við útfærslu virkjunarleiða verður að reyna að vernda þau landform sem einkenna viðkomandi svæði, einkum ef samskonar fyrirbæri er óvitað að finna annars staðar. Mat á ásýnd lands er m.a. háð einstaklingsbundinni skoðun á því hvað er fallett.

**Vötn og vatnakerfi:** Mat á áhrifum á vötn og vatnakerfi er mikið háð því hverskonar vötn eiga í hlut. Flestir hinna stærri virkjunarmöguleika byggjast á nýtingu jökuláa. Þá skiptir miklu máli að jökulárnar sem slíkar bjóða fæstar upp á mikla möguleika fyrir vatnafisk og sportveiði. Hreinræktadar jökulár eru gruggugar og fátækar af lífrænni framleiðslu. Rennslissveiflur eru oft miklar og sömuleiðis sandburður með botni þar sem þær renna á láglandi. Miðlun í slíkum ám gerir tvennt til að bæta þessi skilyrði; allur grófur aur er felldur út í miðlunarlónum og rennslíð jafnað. Veita slíkra vatnsfalla í tærar ár eða stöðuvötn, ef um það er að ræða, hefur að sama skapi neikvæð áhrif.

Meðal þeirra rennslisorkustaða, sem hafa verið skilgreindir sem líklegir virkjunarstaðir, eru allnokkrir í veiðiám, þótt þeir séu fáir í samanburði við allan þann fjölda áa, sem lax og silungur

gengur í. Almennt er óhætt að fullyrða að miðlun bergvatns í stöðuvötnum hafi neikvæð áhrif á fisk í þeim, einkum urriða. Flest vötn á hálandinu eru hins vegar bleikjuvötn. Miðlunarlón með tæru vatni bjóða upp á svipuð skilyrði fyrir lífræna framleiðslu í svifi og náttúruleg vötn. Ár sem eiga upptök sín í stöðuvötnum gefa meiri veiði, en bæði dragár og lindár, vegna lífræns reks sem þær fá í vöggugjöf. Frumathugun á líklegum virkjunarleiðum í bergvatnsám bendir til þess að virkjun muni í flestum tilfellum ekki hafa áhrif á hve stór hluti farvegarins er fiskgengur. Það mun hins vegar oft koma viðkomandi ám til góða að rennissveiflur verða jafnaðar og búast má við auknu lífrænu reki í þeim.

**Umferð:** Í tengslum við mannvirkjagerð má búast við að aðgengi að mörgum svæðum í óbyggðum batni stórlega. Það hefur bæði sínar jákvæðu og neikvæðu hliðar. Almennt hlýtur aukið aðgengi sem flestra að landinu að vera jákvætt, eða því ættu ferðir um óbyggðir eingöngu að vera á valdi þeirra sem hafa efni á að eiga fjallabíla? Aukið aðgengi ætti að geta komið sér vel fyrir uppbyggingu ferðaþjónustu. Á einstaka svæðum, sem eru viðkvæm eða búa yfir einhverju því sem þykir eiga að vernda fyrir ágangi, væri aukið aðgengi neikvætt.

**Menningarminjar:** Ekki er margt af því tagi á miðhálandi Íslands; helst minjar um gamlar leiðir milli landsfjórðunga, og leyfar gamalla gangnamannaskýla. Á mögulegum virkjunarsvæðum í inndölum eru víða leyfar fyrri byggðar. Af þeim sökum hefur Orkustofnun t.d. styrkt úttekt á byggðaminjum í inndölum Skagafjarðar (Guðrún Sveinbjarnardóttir 1992).

**Hlunnindi:** Beit fer minnkandi á hálandinu, og fá dæmi eru um mikla hættu á árekstrum við veiðihlunnindi, vegna legu vatnsaflsvirkjananna.

## 5. Rannsóknarferli Austurlandsvirkjunar

Ferill rannsókna á svonefndri Austurlandsvirkjun er ágætt dæmi um leit að heppilegum virkjunarkostum, þar sem upp hafa komið spurningar um umhverfisáhrif, sem þarf að svara, og leit að leiðum til að komast framhjá umhverfisvandamálum.

### 5.1 Áætlanir og rannsóknir

Árið 1969 setti Orkustofnun fram hugmynd að stórvirkjun á Austurlandi, sem byggði á því að safna öllum stóránnum á Austurlandi í eina virkjun niður í Fljótsdal. Áætlunin byggðist á almennum gögnum, þ.e. ónákvæmum landakortum og takmarkaðri þekkingu á smáatriðum jarðfræðinnar.

Næsta stig var því að afla betri grunngagna, og hafin var gerð nákvæmra staðfræðikorta, jarðfræðikortlagning og vatnshæðarmælakerfið styrkt.

Fljótlega var Jökulsá í Fljótsdal skilin frá, og hafin athugun á Fljótsdalsvirkjun um og uppúr 1970.

Næsta stig í áætlunum var ný tilhögun á veitu Jökulsár og Kreppu frá stóru lóni í Kreppu og Fagradal til Jökulsár á Brú, og virkjun hennar til Fljótsdals í tveimur áföngum. Hinum fyrri niður á Efra Jökuldal (Hafrahvammavirkjun) og þeim síðari til Fljótsdals (Brúarvirkjun) frá stóru inntakslóni (Almenna verkfræðistofan o.fl 1978). Jafnframt var unnið að athugun á virkjunum í farvegi Jökulsár á Fjöllum, og einnig settar fram hugmyndir að virkjun Jökulsár á Brú í eigin farvegi.

Jarðfræðirannsóknir (Guttormur Sigbjarnarson 1988) leiddu í ljós ýmsa annmarka á þessum hugmyndum. Á þessum slóðum eru lek hraun og sprungukerfi sem rekja má til eldstöðvarinnar í Kverkfjöllum. Há stífla og langir skurðir á hraununum voru því ekki talin vænleg af tæknilegum ástæðum. Auk þess sneiddi þessi hugmynd nærri gróðurvininni í Hvannalindum.

Umhverfisrannsóknir hófust með könnun Eyjabakkasvæðisins 1975. Til þess að tryggja betri yfirsýn og nauðsynlegan samanburð við nálæg svæði sem kæmu til með að standa uppúr væntanlegum lónum, var athugunarsvæðið þanið út og náði loks alla leið vestur fyrir Jökulsá á Fjöllum á árunum 1982-'83 (Hjörleifur Guttormsson o.fl 1981, Kristbjörn Egilsson og Einar Þórarinnsson 1988). Jafnframt var hafin rannsókn á hreindýrastofninum sem stóð yfir árin 1979-'81 (Kristbjörn Egilsson og Skarphéðinn Þórisson 1983). Á þessu tímabili vann Rannsóknastofnun landbúnaðarins að gróðurkortagerð á þessu svæði (Ingvi Þorsteinsson og Guðmundur Guðjónsson 1992).

#### Nýjar virkjunarleiðir:

Jarðfræðirannsóknir sýndu tæknilega annmarka á þeirri virkjunarleið sem fram var komin, eins og fyrr segir, og niðurstöður umhverfisrannsókna bentu til þess að Fagridalur og nágrenni gætu talist verndarverð. Í verkfræðiaætlunum komu fram tvær hugmyndir sem svar við þessum niðurstöðum. Sú fyrri var ný veituleið úr Jökulsá á Fjöllum og Kreppu, og sú síðari leið til að veita vatni frá lóni í Fagradal með lágum stíflum (Þorbergur Þorbergsson og Hörður Svavarsson 1986, Jan Henje og Jóhann Helgason 1987).

- Veita Jökulsár á Fjöllum og Kreppu til miðlunarlóns í Arnardal.
- Lágur stíflur í Kreppu við Lónshnúk og í Jökulsá á Fjöllum við Upptýppinga, og miðlunar- og veitulón, sem náði inn í Fagradal. Göng þaðan að Álftadal og miðlanir í Álftadal og Þríhyrningsdal.

Úr báðum miðlunarlónum var gert ráð fyrir virkjun með göngum að stöðvarhúsi neðanjarðar á Efra Jökuldal og Brúarvirkjun sem fyrr.

Rannsóknir Þjóðminjasafns, Háskóla Íslands og fleiri á fornri byggð á Efra Jökuldal og Hrafnkeldsdal (Sveinbjörn Rafnsson 1990) leiddu til þess að í nýrri áætlunum er aðeins gert ráð fyrir litlu inntakslóni fyrir Brúarvirkjun.

Svæðið norðan Vatnajökuls er óvenju snjólétt. Hreindýrin nýta Vesturöræfi og árdal Jökulsár á Brú sem burðar- og vorbeitarsvæði, og bentu rannsóknir til þess að neðri hluti árdals Jökulsár á Brú, í svonefndu Háslóni, væri mikilvægur í hörðum árum.

Þess vegna var athugað hvort einhver leið væri til þess að lækka yfirfallshæð í Háslóni svo um munaði (Þorbergur Þorbergsson og Hörður Svavarsson 1986). Sú athugun leiddi af sér eftirfarandi tilhögun:

- Yfirfallshæð í Háslóni lækkuð úr 610-620 m í 560 m. Veitt með göngum yfir í Laugarvalladal. Stíflað fyrir mynni hans og Fiskidals í 550 m yfirfallshæð, og virkjað niður á Efra Jökuldal sem fyrr. Í þessa lausn eina sér vantar enn talsvert upp á að miðlun sé viðunandi. Viðbótarmiðlun hefði mátt fá með stíflu fyrir útrennsli Ánavatns, og hefði virkjunin þá orðið við Þverá. Í síðari úrvinnslu hefur verið farin sú leið að láta Arnardalsmiðlun taka að sér viðunandi hluta af þeirri miðlun sem á vantaði.

Lengi vel var lítt áhugi á Austurlandsvirkjun vegna þess hve áfangar hennar eru stórir miðað við þann markað, sem talin var mögulegur, enda tóku þessar athuganir langan tíma, sem er augljós kostur af sjónarhóli þeirra sem sjá um rannsóknir og verkfræðiáætlanir, því að þá gefst gott tóm til að meta nýjar upplýsingar og bregðast við þeim.

Hugmyndir um raforkusölu um sæstreng eru ekki alveg nýjar, en undir lok síðasta áratugar þótti mörgum sem þessar hugmyndir gætu farið að verða að möguleika. Þessar stóru virkjanir henta slíkum hugmyndum vel, og jókst þá áhuginn á þeim. Um það leyti kom Landsvirkjun að þessum athugunum, og hefur á seinustu árum staðið straum af stórum hluta kostnaðar við framhaldsathuganir.

## 5.2 Náttúrufarslegt umhverfismat

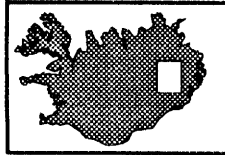
Fram undir lok síðasta áratugar höfðu safnast fyrir miklar upplýsingar um hugsanlega útfærslu virkjunar. Ákveðið var að reyna að gera nokkurskonar náttúrufarslegt umhverfismat á mismunandi virkjunarleiðum á vegum Samstarfsnefndar Iðnaðarráðuneytis og Náttúruverndarráðs um orkumál (SINO), til að geta í það minnsta beint frekari könnun að færri kostum. Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf (1991) var fengin til að stilla upp helst virkjunarkostum. Verkefnisstjóri var ráðinn, og með aðstoð þeirra sérfræðinga sem gerst þekktu svæðin og fulltrúum ferðamála á Austurlandi var samin skýrsla um matið undir heitinu:

"Samiburður á umhverfisáhrifum nokkurra tilhagana á stórvirkjun á Austurlandi (Austurlandsvirkjun)", (Kristján Þórarinnsson (verkefnisstj.) o.fl. 1993).

Í skýrslunni var m.a. lögð mikil áhersla á að hlífa sem stærstu samfelldu svæði næst Vatnajökli. Fagradalur hefur verið talin mjög sérstæð gróðurvin, ekki hvað síst vegna legu sinnar í um 600 m h. y.s. og hafa mikið verndargildi, bæði af þeim sökum og sem hluti af stærri landslagsheild. Sterk gróðurlendi á svæðum þar sem gróður á annars í vök að verjast eru mjög mikilvæg, því að á þau má líta sem fræbanka. Með því að vernda Fagradal og velja aðra veituleið úr Jökulsá á Fjöllum, væri hægt að tryggja friðun nánast allrar Krepputungu, a.m.k. fyrir vatnsaflsvirkjunum.

Í skýrslunni var ekki tekin afstaða til þess hvernig háttað yrði virkjun í Jökulsá á Brú, en kostir og gallar ræddir. Kringilsárrani, sem að hluta færi undir vatn í Háslóni er friðlýstur, og ekki hvað síst sem friðland hreindýra. Miðlunarlón í Laugarvalladal gæti orðið afdrifaríkt fyrir ferðir hreindýra á milli vor- og sumarstöðva í Kringilsárrana og haust- og vetrarstöðva á Jökuldalsheiði. Lón í Laugarvalladal yrði þannig í vissri mótsögn við friðland hreindýra í Kringilsárrana.

Á grundvelli þessara rannsókna, áætlana og bráðabirgðaumhverfismats hefur frekari virkjunarrannsóknum verið beint að virkjun Jökulsár á Fjöllum með veitu frá Arnardal, og virkjun í tveimur áföngum, þeim fyrri niður á Efra Jökuldal, Arnardalsvirkjun, og þeim síðari til Fljótsdals, Brúarvirkjun, og virkjun Jökulsár á Brú frá Háslóni með hárrí vatnsstöðu í einum áfanga niður í Fljótsdal, Fljótsdalsvirkjun II (Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. 1992). Þegar á heildina lítið er landþörf þessara hugmynda með því minnsta sem völ er á, aðeins tvö miðlunarlón, að vísu stór, eitt lítið inntakslón, en mannvirki að öðru leyti að mestu neðanjarðar (sjá meðfylgjandi mynd).



Norð-Austurland  
Austurlandsvirkjanir

- Árnúð lón
- Stöðvarhúsi
- Jarðgöng
- Skurðir/þépur

Mælikvarði 1:350.000

### 5.3 Rannsóknir óháðar vali milli virkjunarleiða

Þær hugmyndir að virkjun sem eru vænlegastar gera ráð fyrir að bæði Jökulsá á Brú og Jökulsá á Fjöllum verði veitt austur í Lagarfjót. Hvernig svo sem virkjunartilhögun verður, mun allur grófur aur falla út í miðlunarlónum og valda því að jafnvægi upphleðslu og rofs mun raskast á sandströndum við ósa ána. Rennsli á Dettifoss mun minnka verulega. Þessir þættir hafa verið til athugunar á seinustu árum (Hákon Aðalsteinsson og Oddur Sigurðsson 1993). Ennfremur er ljóst að ferskvatnsstreymi til sjávar minnkar á Norðausturlandi, en eykst að sama skapi í Héraðsflóa. Athuganir verða gerðar nú í vor á strandsjó fyrir NA-landi í tengslum við rannsóknarleiðangra á vegum Hafrannsóknastofnunar.

Helstu niðurstöður þessara athugana eru:

- Talið er auðvelt að koma í veg fyrir vatnsborðsbreytingar í Lagarfjóti (Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf 1993).
- Áætlað er að grugg muni tífaldast í Lagarfjóti, en óvíst er um áhrif þess á annars fátæklegt lífríki fljótsins, sem kannað var sumarið 1975 (Hákon Aðalsteinsson 1976).
- Ekki er talið að hitastig í Lagarfjóti breytist umtalsvert. Í svo stóru vatni ræður vatnsmegin og veðurfar meiru en hitastig innrennslisvatns, sbr. Þingvallavatn, þar sem 60-70% af innrennsli eru kaldar lindir (2-4°C).
- Áætlað er að fjörुकamburinn í Öxarfirði færast inn um 200 m og á Héraðssandi um 600 m á næstu 100 árum. Þá er miðað við að hann sé nú um 200 m frá fjöruborði.
- Á undanförunum árum hafa verið teknar myndir af Dettifossi við mismunandi rennsli til að hægt sé að átta sig betur á því hvaða skilyrði eigi að setja varðandi lágmarksrennsli á fossinn.

Vonandi hefur þetta yfirlit skýrt eitthvað með hvaða hætti gagnaöflun fyrir umhverfismat getur verið eðlilegur þáttur undirbúningsrannsókna, og hvernig alltaf er verið að leita að bestu lausnum.

## 6. Breyttar áherslur

Nú þegar kemur að því að áætlanir um virkjanir fari í umhverfismat áður en hægt er að veita leyfi til virkjunar, þarf að meta hvaða áhrif ný lög um umhverfismat hafa á forathuganir Orkustofnunar, hverju þurfi að breyta í aðferðum og umfangi. Nefna má nokkur atriði sem líklega munu hafa áhrif á starfsemi Orkustofnunar:

- Það þarf líklega að leggja fram marktækar hugmyndir um virkjunarmöguleika á svæðum þar sem verið er að vinna að skipulagi, en það kann að flýta könnun svæða sem annars eru aftarlega í forgangs röð.
- Auknar kröfur um kynningu fyrir almenningi kalla á betri framsetningu. Þar kemur Landupplýsingakerfið (GIS) að góðum notum.
- Gera þarf betri grein fyrir breytingum sem virkjun veldur á vatnafari en hingað til. Hversu mikið vatn verður eftir í ánni eftir að hluta þess hefur verið veitt burt, og hvernig dreifing þess breytist innan ársins.



## 6.1 Gögn um umhverfisaðstæður

Lykilorðið varðandi niðurstöður umhverfismats er **umtalsverð umhverfisáhrif**, og það er jafnframt það sem helst hefur vafist fyrir mönnum að skilgreina. Hve mikil mega þau vera til að teljast umtalsverð?

Við könnun á umhverfisaðstöðum, mati á breytingum og hæfni umhverfisins til að mæta þeim, þarf að afla ýmissa gagna. Við sjálft matið er gert ráð fyrir að hafa hliðsjón af svonefndum gátlista, en það er listi yfir ýmsa umhverfisþætti, sem framkvæmd kann að hafa áhrif á. Slíkir gátlistar eru hluti af leiðsögureglum um framkvæmd matsins. Gátlistar eru til hægðarauka við að finna þá þætti sem viðkomandi framkvæmd gæti haft **umtalsverð áhrif á**.

**Helstu umhverfisþættirnir varða:**

1. Jarðmyndanir
2. Vatn
3. Gróður
4. Dýralíf
5. Menningarminjar
6. Óþægindi og fagurfæði
7. Landnytjar
8. Þjónustukerfi
9. Mannlega þætti

Þegar metin eru áhrif á hagræna og félagslega þætti, svo sem þjónustukerfi og mannlega þætti, er nauðsynlegt að greina á milli áhrifa af byggingu mannvirkja annars vegar og rekstri orkuvers hins vegar. Byggingarframkvæmdir eru mannfrekar, en standa stutt yfir, og geta því haft mikil tímabundin áhrif. Rekstur orkuversins gefur fá atvinnutækifæri, og hefur því lítil áhrif á þjónustustig, en getur þó gefið viðkomandi samfélagi miklar tekjur af hverju ársverki, bæði beint og óbeint.

## 7. Náttúrufarsleg verðmæti

Mikilvægustu þættirnir í umhverfismati á forathugunarstigi varða ákvörðun um landnýtingu. Eðlilegast er að ákvörðun um slíkt sé tekin við skipulag viðkomandi svæðis. Hvað varðar svæði eða fyrirbæri utan þéttbýlis má fullyrða að krafa um verndun af náttúrufarslegum ástæðum skipti mestu máli, og þau sjónarmið þurfi að vega á móti ávinningi af mögulegri virkjun. Hverjar eru þá forsendur fyrir mati á verndargildi, og hvaða aðferðir höfum við til að nálgast það? Þar höfum við annars vegar þá hagsmuni eða viðmið, sem móta þörf fyrir verndun, og hins vegar þá þætti í umhverfinu sem móta verndargildi.

## 7.1 Verndunarviðmið

Eftirfarandi viðmið varðandi þörf fyrir verndun voru sett við undirbúning að mati á verndargildi vatnsfalla og vatnasvæða í Noregi. Þó hér sé fyrst og fremst minnst á svæði, geta þessi viðmið alveg eins átt við einstaka staði eða fyrirbæri.

- Svæði sem geyma upplýsingar um fyrra ástand eða þróun.
- Að svæði sé dæmigert fyrir núverandi ástand.
- Framleiðni og framleiðniforsendur í fjölbreyttu kerfi.
- Gildi svæðisins fyrir far (migration), vetursetu, tilhugalíf og burð.
- Viðmiðunarsvæði. Verndargildi þess felst í því að þar má nema af náttúrunni í sem ósnortnustu ástandi. Það er m.a. mikilvægt til samanburðar við önnur svæði, þar sem breytingar eiga sér stað.
- Dæmigerð svæði, annaðhvort fyrir einstaka landshluta, landið eða í alþjóðlegu tilliti.
- Sjaldgæft. Á svæðinu er eitthvað sem er fágætt eða einstakt. Verndun þess æskileg ef hættu er á að það fari forgörðum.
- Mikilfenglegt og augsýnilegt, hvort heldur eru fyrirbæri eða ferli.
- Fjölbreytni m.t.t. tegunda, líffssamfélaga eða annarra náttúrufyrirbæra.
- Svæði þar sem miklar rannsóknir hafa farið fram.
- Lykilsvæði fyrir vísindalega gagnaöflun, túlkun og skoðanaskipti.
- Hluti af stærri heild.
- Ástand, mismunandi snortin svæði.
- Kennslugildi eftir skólastigi, kennsluformi eða sjálfsnámi, þar sem hið síðastnefnda höfðar einnig til útivistargildis. Slík svæði þurfa að vera aðgengileg.

Til að njóta verndunar þurfa stór svæði, eins og t.d. heil vatnasvið, helst að sameina sem mest af verndarviðmiðunum, því að verndun getur augljóslega verið mjög dýr, þegar hafna þarf annarri hagkvæmri nýtingu viðkomandi svæðis. Almennt er mikilvægt að vernduð svæði séu aðgengileg, en það getur þó farið nokkuð eftir tilganginum. Markmið verndunar þarf að vera skýrt og þess gætt að "markmiðin" njóti verndar.

## 7.2 Náttúrufarslegir umhverfisþættir

Ef taka á saman ýmsa umhverfisþætti, sem skipta máli við náttúrufarslegt mat á orkuvirkjum, er hægt að afmarka ýmis atriði miðað við einkenni og staðsetningu orkuvirkja. Langflestar vatnsaflsvirkjanir, sem líklegt er að komi til framkvæmda í nágrenni framtíð, verða staðsettar við hálendisbrún, og aðalmannvirkjasvæði þeirra af þeim sökum á hálendinu (ofan 200 m y.s.). Í eftirfarandi umfjöllun er því fyrst og fremst miðað við náttúrufar á hálendinu.

### 7.2.1 Jarðmyndanir

Verndarverðar jarðmyndanir geta verið sérstakar að einhverju leyti hvort sem er fyrir viðkomandi landsvæði eða landið í heild. Ennfremur samspil margra jarðmyndana, sem mynda sérstæða heild, eða eru hluti af sérstæðri landslagsheild. Hér á eftir fer listi yfir nokkrar gerðir jarðmyndana, sem gætu uppfyllt ofanefnd skilyrði, eða gefið sérstakt tilefni til rannsókna og lýsingar. Listinn er samin af jarðfræðingum á Orkustofnun, þeim Ingibjörgu Kaldal, Freysteini Sigurðssyni og Árna Hjartarsyni.

#### STEINDIR

- Fundarstaðir holufyllinga (geislasteina, kvars, kalsít o.fl.)
- Lindakalk, kalkhrúður

#### BERGTEGUNDIR

- Flikrubergr

#### ÁSÝNDIR BERGS

- Bólstrabergr
- Stuðlabergr

#### STEINGERVINGAR

- Fundarstaðir gróðurleifa og annarra steingervinga

#### NÚTÍMAELDVIRKNI

- Gjósfluggar
- Gjall- og klepragfluggar
- Gervigfluggar
- Gjóska - gjóskusnið

#### JARÐHITI

- Hverskonar jarðhiti eða ummerki hans

#### ROFFORM JÖKULS OG JÖKULVATNS

- Hvilft
- Jökulsorfinn dalur
- Hvalbök
- Jökulrákir og grópir
- Jaðarrásir
- Svelgrásir
- Strandlfnur jökullóns

## SETFORM JÖKULS OG JÖKULVATNS

- Jökulgarðar, endagarðar
- Ummerki jökuljaðars, endasleppur sandur
- Jökulalda - "drumlin"
- Jökulkembur
- Grettistöð
- Malarás
- Svelgrás
- Sprungufyllingar
- Jaðarhjalli
- Lónhjalli
- "Kames"
- Jökulker

## SET

- Jökulruðningur
- Jökulárset
- Árset
- Foksandur
- Vikur
- Lónset
- Hvarfleir
- Kísilgúr (barnamold)
- Mór

## FROSTVERKUN

- Grjótjökull
- Holurð
- Ísfleygaför
- Fleygsprungunet
- Jarðskriðstungur
- Jarðsilsstallar

- Flá - rústir
- Melatíglar
- Melarendur
- Skriður

#### VINDROF

- Vindsvörfun bergs

#### SKRIÐUHLAUP

- Bergskriður

#### VATNAFRÆÐI

- Lindir
- Ummerki um eldra rennslismynstur

#### JARÐLÖG

- Jarðlagamót eða syrpur, sem eru einkennandi fyrir ákveðin tímabil

### 7.2.2 Gróðurfar

Gróðurfar er óaðskiljanlegur hluti landslags, og tengist þannig heildarmynd þess. Hvað sjálfan gróðurinn varðar, eru áhrif virkjana á gróðufar fyrst og fremst tengd beinum landnotum, þ.e. myndun lóna og vatnsvega á þurrlendi, og öðrum minniháttar landnotum, svo sem vegna háspennulína, vega og efnisnáms. Venjan er að meta gróðurfar annars vegar eftir einkennandi eða sérstæðum gróðursamfélögum, fjölbreytni tegunda og grósku og hins vegar eftir sjaldgæfum tegundum. Öll þessi atriði geta ljáð svæðum einhverja þá eiginleika, sem gera þau verndarverð. Hvað hin fyrrnefndu varðar, er erfitt að meta það fyrirfram hvaða atriði gætu skipt máli, og svipað gildir einnig um atriði eins og óvenjulega vaxtastaði, t.d. miðað við hæð y.s. Þegar kemur að einstaka tegundum er hægt að nefna ýmislegt sem skiptir máli í væntanlegu mati.

#### Sjaldgæfar tegundir á landsvísu

Nægileg þekking og yfirlit er til um flóru landsins til að nefna hvaða tegundir eru sjaldgæfar. Um það má nefna tvær heimildir, annars vegar friðlýstar plöntutegundir (Náttúruverndarráð 1991) og hins vegar skrá Eyþórs Einarssonar, Náttúrufræðistofnun Íslands, um háplöntur í hættu (Umhverfisráðuneytið 1992). Af samtals 46 tegundum á þessum skráum eru aðeins þrjár á hálendinu (Eyþór Einarsson, munnl. uppl.).

- Heiðastör
- Fjallkrækill
- Hreistursteinbrjótur

#### Svæðisbundnar tegundir

Margar tegundir eru algengar á vissum landsvæðum eða landshlutum, og geta því skipt máli við mat á náttúrufarlegum umhverfisáhrifum í viðkomandi landshluta. Gagnlegt er að gera lista yfir

þær eftir landshlutum, og verða hér nefnd nokkur dæmi, sem fengin eru úr skýrslum um gróðurfar á ýmsum virkjunarsvæðum og handbókum.

**Austur og Norðausturland:** Í Fagradal á Brúaröræfum nefnir Kristbjörn Egilsson 5 tegundir með landræna útbreiðslu, sem hvergi finnast nema norðan Vatnajökuls (Kristbjörn Egilsson og Einar Þórarinnsson 1988).

- Fjallalójurt
- Móastör
- Dvergstör
- Toppastör
- Finnungsstör

**Suðurland:** Við Þjórsá ofan Gljúfurleitar nefna Kristbjörn Egilsson og Hörður Kristinnsson (1992) 5 tegundir sem eru sjaldséðar á Suðurlandi.

- Lensutungljurt
- Lfnstör
- Kollstör
- Fjallastör
- Fjandafæla

### 7.2.3 Fuglalíf

Fuglalíf getur almennt orðið fyrir skaða af orkuvirkjum með því að gróðurlendi eða vötn fari forgörðum. Þessi tengsl eru um fæðukeðjuna, þannig að smádyralíf er háð útbreiðslu gróðurs, grósku og fjölbreytni gróðurlenda. Fjöldi fugla og fjölbreytni er þannig tengt gróðurfari í gegnum áhrif þess á smádyralíf, auk þess sem einstaka fuglategundir lifa beint á gróðri. Fuglalíf er þannig eitt af því sem getur valdið því að tiltekin gróðurlendi séu talin verndarverð. Þar til viðbótar kæmu sértæk áhrif á tegundir sem eru sjaldgæfar eða þar sem hallar undan fæti. Um slíkar tegundir er listi frá Ævari Petersen, Náttúrufræðistofnun Íslands, í áðurnefndu riti Umhverfisráðuneytisins (1992). Flokkunin fylgir kerfi sem hefur verið mótað fyrir Norrænu ráðherranefndina. Aðeins lítil hluti þeirra fuglategunda sem þar eru taldar er að vænta á hálendinu.

#### 1. Í mikilli hættu (< 10 pör)

1 a) Varpfuglar sem hefur fækkað mjög, sumir e.t.v. hættir að verpa.

\* Engin tegund á hálendinu.

1 b) Nýir varpfuglar, sumir e.t.v. óreglulegir.

\* Snæugla

\* Bergtittlingur?

#### 2. Viðkvæmir, stofn < 100 pör

\* Engin tegund á hálendinu.

3. Sjaldgæfir eða staðbundnir; staðbundin útbreiðsla í Evrópu eða á Íslandi.

3 a) Stofnstærð < 1000 pör. Fækkun í stofninum.

\* Gulönd

3 b) Stofnstærð > 1000 pör. Fækkun eða sveiflur í stofninum.

\* Hávella

3 c) Stofnstærð < 1000 pör. Í Evrópu aðeins á Íslandi. Stöðugur stofn.

\* Himbrimi

3 d) Stofnstærð > 1000 pör. Í Evrópu aðeins á Íslandi. Sveiflukenndur stofn.

\* Straumönd

3 e) Stofnstærð < 1000 pör. Stöðugur stofn.

\* Fálki

\* Grafönd

3 f) Stofnstærð > 1000 pör. Stækkandi stofn.

\* Engin tegund á hálendinu.

3 g) Stofnstærð > 1000 pör. Staðbundin útbreiðsla á Íslandi. Stöðugur, stækkandi stofn.

\* Engin tegund á hálendinu.

Heiðagæs er ekki á þessum lista, en hún er dæmi um tegund sem velur sér þannig búsvæði að virkjunarmannvirki gætu haft veruleg áhrif á útbreiðslu hennar og framgang. Útbreiðslu hennar er þannig hátt að erfitt er að meta hvaða áhrif breytingar á einstaka svæðum hafa á stofninn í heild, ekki hvað síst vegna örra breytinga í stofnstærð og útbreiðslu, sem líklega eiga rætur að rekja til aðstæðna utan Íslands, einkum á Grænlandi.

## 7.3 Vötn og vatnalíf

### 7.3.1 Vötn og vatnakerfi

Sérhver virkjun með tilheyrandi miðlun(um) og veitu vatns frá miðlunarlóni að þeim stað þar sem vatni er skilað vatnakerfinu aftur, breytir eiginleikum viðkomandi vatnsfalls og vatnakerfis, og lífríki þess. Þeir þættir sem mestu skipta eru:

- Rennsliseiginleikar
- Efnæiginleikar, hitastig og grugg, þ.e. framleiðniforsendur.
- Tegundasamsetning og hlutfallslegt magn fánu og flóru.

Breytingar á rennsliseiginleikum varða bæði ásýnd vatnsfallsins, t.d. vatnsmagn á fossum, hættu á landbroti ef veitt er á milli vatnasviða, og breytingar á lífsskilyrðum. Breyttir efnæiginleikar, þar með talið aukið eða minnkað grugg, gætu einnig valdið breyttum lífsskilyrðum.

Mikilvægt er að meta hvort viðkomandi vatnsfall skilur sig frá því sem gengur og gerist innan viðkomandi landssvæðis, en það gefur best til kynna hvert gildi þess er, því að úrval mismunandi lífsskilyrða er mikilvægt verndarforsenda.

Best er að byggja matið á völdum eðlis- og efnæiginleikum, dýrasvifi og strandkröbbum, einkum í minni vötnum, svifi og botndýrum í vötnum, og botndýrum í ám.

Fána íslenskra vatna er fremur fábreytt, og setur það oft meiri svip á tegundasamsetningu, en fjölbreytni umhverfisþátta. Þetta á ekki hvað síst við um rennandi vatn, þar sem vantar áberandi fulltrúa ýmissa ættkvísla, sem eru algengar t.d. í Skandinavíu. Vegna þessarrar fábreytni

er líklega erfiðara en ella að segja fyrir um breytingar sem kynnu að verða vegna breytinga í eðlis- og efnaeiginleikum vatna.

Mikilvægustu eðlis- og efnaeiginleikar vatnsfalla byggjast á uppruna þeirra:

- Dragár
- Lindár
- Jökulár

Það verður að teljast fremur heppilegt að dragár og lindár eru að mestu landfræðilega aðskildar, sem þýðir að meiri líkur eru á að innan hvers landsvæðis sé visst úrval vatnsfalla með svipaða eiginleika. Jökulár eru sérstæðar; hreinræktaðar eru aðallega þær sem koma undan sunnanverðum Vatnajökli og Mýrdalsjökli, en aðrar blandast því meir vatni af öðrum uppruna sem lengra dregur frá jökli. Lífsskilyrði í jökulám takmarkast af gruggi og botnskriði.

Um lífsskilyrði í vatnsföllum má fá mikilsverðar upplýsingar út frá því hvaða tegundir laxfiska veiðast þar. Í hinum frjósamari veiðist að jafnaði aðallega lax, en í þeim snauðari aðallega bleikja.

Líkt og með vatnsföll er mikilvægt að huga að fjölbreytni vatna innan viðkomandi landsvæðis til að meta hugsanlegt verndargildi þeirra vatna sem hverfa eða verða fyrir breytingum vegna virkjunar. Tjarnir ber fyrst og fremst að skoða sem hluta af votlendum gróðursvæðum.

#### 7.4 Menningarminjar

Menningarminjar eru fáar og fábreyttar á hálendinu. Þær helstu eru minjar um gamlar reiðleiðir milli landshluta, útilegumannabyrgi, áningarstaði gangnamanna með mannvistarleyfum eða uppistandandi kofum og leyfar eftir búsetu frá því að hún teygði sig inn eftir afdölum eða upp á heiðar. Heimildir um slíkar minjar eru yfirleitt fremur óaðgengilegar, og lítið verið skráð nema fornleifaskrá, sem inniheldur lista um friðlýstar minjar (Fornleifanefnd 1990).

Í skráningu á Náttúruminum er annars vegar skráð það sem er lögformlega friðað, og hins vegar skrá um minjar, þar sem Náttúruverndarráð stefnir að nánari athugun varðandi friðun. Þar getur verið um að ræða eignarréttarmál, sem þarf að leysa, eða einfaldlega að ráðrúm gefist og fjármunir fái til þeirra athugana sem þarf til að taka afstöðu til verndargildis og þá með hvaða hætti viðkomandi svæði yrði friðað. Við undirbúning að vali á tilhögun virkjunar eru slíkir listar til mikilla bóta.

Samsvarandi lista vantar varðandi mannvistarminjar.

Ef þau viðmið vantar sem eðlilegt er að ráði mati á því hvort áhrif á umhverfi geta talist umtalsverð eða lítilvæg, er erfitt að átta sig á því hvaða gagna þarf að afla til umhverfismats.



## 8. Heimildaskrá

- Almenna verkfræðistofan hf., Virkir hf., og Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. 1978. *Austurlandsvirkjun I, tilhögun virkjana*. Orkustofnun og Rafmagnsveitur ríkisins, OS ROD 7817.
- Fornleifanefnd 1990. *Skrá um friðlýstar fornleifar*. Fornleifanefnd og Þjóðminjasafn Íslands. 78 s.
- Guðrún Sveinbjarnardóttir 1992. Farm abandonment in medieval and post-medieval Iceland: an interdisciplinary study. *Oxbow Monograph 17*, 192 s.
- Guttormur Sigbjarnarson 1988. *Krepputungu og Brúardalir, lýsingar á korteyningum jarðfræðikorts*. Orkustofnun, OS-83038/VOD-06, 44 s.
- Haukur Tómasson 1991. *Vatnsaftsfordinn og nýting hans*. Ómar Bjarki Smáráson (ritstj.). Erindi á Orkuþingi 91: 120-132.
- Haukur Tómasson og Hákon Aðalsteinsson 1991. *Vatnsorkulindir landsins, áttak í grunnrannsóknunum*. Erindi á ársfundi Orkustofnunar 1991. Orkustofnun, OS-91010: 45-53.
- Hákon Aðalsteinsson 1976. *Lögurinn, svifaur, gegnsæi og lífríki*. Orkustofnun, OS-ROD 7609, 47 s.
- Hákon Aðalsteinsson og Oddur Sigurðsson 1993. *Austurlandsvirkjun, áhrif á framburð og strandrof við Héraðsflóa og Öxarfjörð, grugg, og hitastig í Lagarfjótí, og ástand strandsjávar*. Orkustofnun, OS-93070/VOD-07, 43 s.
- Hjörleifur Guttormsson (ritstj.), Einar Þórarinsson, Kristbjörn Egilsson, Erling Ólafsson og Hákon Aðalsteinsson 1981. *Náttúrfarskönnun á virkjunarsvæði Jökulsár í Fljótsdal og Jökulsár á Dal*. Orkustofnun, OS-81002/VOD-02, 269 s.
- Ingvi Þorsteinsson og Guðmundur Guðjónsson 1992. *Gróður og landgreining á hugsanlegum lónstæðum Austurlandsvirkjunar*. Skýrsla til Landsvirkjunar. Rannsóknarstofnun landbúnaðarins, 7 s.
- Jan Henje og Jóhann Helgason 1987. *Jökulsárveita - Tilhögun III, mat á virkjunartilhögunum og forsendum fyrir framhaldi jarðfræðikortlagningar á vatnasviði Jökulsárna á Fjöllum og Brú*. Landsvirkjun, 21 s.
- Kristbjörn Egilsson og Skarphéðinn Þórisson 1983. *Áhrif fyrirhugaðra virkjana á hreindýr og beitolönd þeirra*. Orkustofnun, OS-83074/VOD-08, 63 s.
- Kristbjörn Egilsson og Einar Þórarinsson 1988. *Brúaröræfi, náttúrfarskönnun vegna virkjunar Jökulsár á Fjöllum og Jökulsár á Dal*. Orkustofnun, OS-88021/VOD-03, 161 s.
- Kristbjörn Egilsson og Hörður Kristinsson 1992. *Gróðurfar við Efri Þjórsá, svæðið milli Gljúfurár og Kisu*. Skýrsla unnin fyrir Landsvirkjun. Náttúrufræðistofnun Íslands, 26 s.
- Kristján Þórarinsson (verkefnisstj.), Einar Þórarinsson, Kristbjörn Egilsson, Kristinn H. Skarphéðinsson, Skarphéðinn Þórisson og Björn Ingarsson 1993. *Samanburður á umhverfisáhrifum nokkurra tilhagana á stórvirkjun á Austurlandi (Austurlandsvirkjun)*. Samstarfsnefnd Iðnaðarráðuneytis og Náttúruverndarráðs um orkumál, 120 s.

Náttúruverndarráð 1991. *Náttúruminjaskrá*. Náttúruverndarráð, 6.útgáfa. 62 s.

Umhverfissráðuneytið 1992. *Ísland, umhverfi og þróun*. Umhverfissráðuneytið, 165 s.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. 1991. *Austurlandsvirkjun. Virkjun Jökulsár á Fjöllum og Jökulsár á Brú, samanburðaráætlanir*. Landsvirkjun, 21 s.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. 1992. *Austurlandsvirkjun. Virkjun Jökulsár á Brú og Jökulsár á Fjöllum, Fljótsdalsvirkjun II, Arnardalsvirkjun, Brúarvirkjun. Frumhönnun, áfangaskýrsla*. Landsvirkjun, 46 s.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. 1993. *Lagarfljót. vatnsborðsreikningar, áfangaskýrsla*. Landsvirkjun.

Þorbergur Þorbergsson og Hörður Svavarsson 1986. *Austurlandsvirkjun. Jökulsárnar á Dal og Fjöllum*. Orkustofnun, OS-86059/VOD-20 B, 47 s.

# Umhverfisáhrif jarðhitanýtingar

Hrefna Kristmannsdóttir  
og  
Halldór Ármannsson

## 1. Inngangur

Jafnan hefur verið talið að óveruleg umhverfisspjöll og lítil mengun hlytust af nýtingu jarðhita samanborið við flesta aðra orkuvinnslu. Ljóst er þó að nokkur umhverfisáhrif eru óumflýjanleg við nýtingu jarðhita, einkum á háhitasvæðum. Um 45 % af frumorku á Íslandi eru unnin úr jarðhita. Mestur hluti þeirrar orku fer til húshitunar og enn sem komið er eru einungis um 5% af raforku framleidd með jarðhita, en líklegt þykir að veruleg aukning verði á raforkuframleiðslu með jarðhita á næstu áratugum. Á tímum vaxandi vitundar um umhverfismál er eðlilegt að lögð sé aukin áhersla á rannsóknir á umhverfisáhrifum samfara nýtingu þessarar helstu orkulindar þjóðarinnar.

Hluti þeirra rannsókna, sem fram hafa farið við undirbúning virkjunarframkvæmda á íslenskum jarðhitasvæðum, fellur undir umhverfisrannsóknir og virkjunaraðilar hafa gjarna fylgst með og látið rannsaka ýmsa þá þætti sem tengjast mengunar- og umhverfisáhrifum, en umhverfismati og beinum rannsóknum á umhverfisþáttum hefur minna verið sinnt til þessa.

Orkustofnun hefur á undanförunum árum lagt aukna áherslu á rannsókn á umhverfisáhrifum jarðhitanýtingar. Aðaláhersla hefur verið lögð á háhitasvæði enn sem komið er. Áhrif lághitanýtingar á umhverfi eru annars eðlis og almennt minni en háhitanýtingar, en þó geta hitaveituframkvæmdir haft í för með sér verulega röskun umhverfis og er áhugi á því að sinna rannsóknum á þeim þætti betur í framtíðinni.

Í þessu erindi verður greint frá samvinnuverkefni Orkustofnunar og helstu notenda háhitaorku á Íslandi um slíkar rannsóknir. Sagt verður frá mótun verksins og helstu verkþáttum og niðurstöðum rannsókna fram til þessa. Fyrst verður gefið stutt almennt yfirlit yfir áhrif jarðhitanýtingar á umhverfið, fjallað um reynslu erlendis frá og erlendar reglugerðir um umhverfismál jarðhitavirkjana. Einnig verður dregið á hvernig ný lög um umhverfismat tengjast jarðhitavinnslu og undirbúningi að byggingu jarðhitavirkjana.

## 2. Helstu umhverfisáhrif samfara jarðhitanýtingu

Á ársfundi Orkustofnunar 1991 flutti Halldór Ármannsson yfirgripsmikið erindi um helstu áhrif virkjunar jarðhita á umhverfið (Halldór Ármannsson ofl., 1991). Verður því í þessu erindi einungis gefið stutt yfirlit um áhrif af þessu tagi.

Umhverfisáhrif eru mjög mismikil eftir eðli jarðhitasvæðanna og því um hvers konar virkjun er að ræða. Þannig er aðeins um óverulega efnamengun að ræða við virkjun lághitasvæða og venjulega mun minni hættu á varmamengun. Hins vegar getur bygging hitaveitu krafist pípulagnar yfir tugi kílómetra langan veg, en mannvirki tengd raforkuveri eru mun staðbundnari.

Helstu umhverfisáhrif, sem sérstaklega koma fram við nýtingu jarðhita eru:

**Útlitsbreytingar** á yfirborði jarðar verða óhjákvæmilega við gerð mannvirkja. Við jarðhitavirkjanir þarf oft að leggja pípur um langan veg, og getur það valdið sjónmengun á fallegum svæðum. Við breytingar á virkni jarðhitans á yfirborði geta einnig orðið landspjöll, sem rekja má til virkjunar hans. Hættulegustu dæmi um þetta eru öflugar og mannskæðar gufusprengingar, sem orðið hafa á vinnslusvæðum gufuvirkjana erlendis.

**Hávaðamengun** verður við allar framkvæmdir, einkum boranir, en þó er mestur hávaði tengdur blásandi háhitaborholum. Hávaði í fárra metra fjarlægð frá óhljóðdeyfðri háhitaborholu er svipaður og frá þotu í flugtaki og jafnvel frá fullkomlega hljóðdeyfðri borholu er meiri hávaði en á götuhorni í stórborg.

**Félagsleg og efnahagsleg áhrif** jarðhitaframkvæmda eru yfirleitt svipaðs eðlis og annarra stórframkvæmda. Jarðhitasvæði eru oft afskekkt, en jafnframt gjarna á svæðum þar sem mikil náttúrufegurð ríkir, og því getur virkjun haft mjög jákvæð áhrif á ferðamannaiðnað, þar sem góðir vegir eru gerðir að þeim. Nokkuð algengt er að jarðhitasvæði séu í eða í nánd þjóðgarða og er þá krafist sérstakrar aðgæslu og eftirlits með umhverfisáhrifum.

**Eðlisbreytingar umhverfis** eins og landsig og breytingar á grunnvatnsstöðu, sem verða við jarðhitavinnslu. Alls staðar þar sem ekki er dælt niður affallsvatni hafa mælst þess háttar breytingar, en hversu miklar þær verða er háð jarðfræðilegum aðstæðum og massatöku á hverjum stað. Breytingar geta orðið á jarðskjálftavirkni vegna massatöku úr svæðinu og einnig vegna niðurdælingar.

**Varmamengun**, sem verður bæði við vinnslu jarðhita og reyndar einnig við náttúrulegt afrennsli. Alvarlegustu dæmi um varmamengun eru á stöðum þar sem frárennslisvatni er veitt beint í ár og vötn.

**Efnamengun** í vatni og lofti, sem er þó mun minni en í orkuverum kyntum með kolum og olú. Áætlað er að a. m. k. 150 þ tonn af koldíoxíði og um 14 þ tonn af brennisteinsvetni streymi út í loftið frá jarðhitasvæðum á Íslandi, en þær eru algengustu lofttegundirnar í jarðhitagasi. Til samanburðar má geta þess að árleg losun koldíoxíðs vegna brennslu er 2,6 m tonn á ári á Íslandi. Önnur algeng jarðhitagös eru köfnunarefni, vetni, argon og metan. Metan er eins og koldíoxíð talið valda gróðurhúsaáhrifum, en hin eru skaðlaus. Brennisteinsvetni er eitruð lofttegund og virkar tærandi á málma. Skaðsemi er yfirleitt bundin við nánasta umhverfi útstreymisstaðar, en gasið þynnist fljótlega. Deilt er um hversu mikill hluti brennisteinsvetnisins oxist yfir í brennisteinsdíoxíð, sem veldur súru regni. Sum sporefni í jarðhitagasi geta verið skaðleg, eins og t. d. bór og ammoníak. Auk venjulegra eiturefna getur úði dreifst um og valdið útfellingum á gróður og mannvirki.

Þegar rætt er um efnamengun í lofti frá jarðhitasvæðum má ekki gleyma því hversu hrein orkulind jarðhitinn er í samanburði við kol og olú. Bæði er mun minna gasútstreymi frá jarðhitavirkjunum, minna um eitraðar lofttegundir og þeim fylgir ekkert ryk eða sót. Sem dæmi um þetta er sýnd í töflu 1 loftmengun frá kyndistöðvum í nokkrum þéttbýlisstöðum í grennd við Petropavlovsk á Kamtchatka og hvernig hún breytist eftir byggingu jarðhitaorkuvers á jarðhitasvæðinu í Mutnovski (sjá töflu 1), sem meðal annars mun sjá hitaveitum þessara þéttbýlisstaða fyrir heitu vatni.

**Tafla 1.** Útstreymi gasa og ryks frá kyndistöðvum í níu þéttbýlistöðvum í grennd við Petropavlovsk, Kamchatka, fyrir og eftir byggingu jarðhitaorkuvers

Útstreymi kyndistöðva	CO <sub>2</sub> tonn/ár	CO tonn/ár	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> tonn/ár	SO <sub>2</sub> tonn/ár	H <sub>2</sub> S tonn/ár	NO <sub>2</sub> tonn/ár	Sót tonn/ár
Heildarstreymi 1993	234.000	965	0.95	2.151		319	878
Frá kolakjantum kyndistöðvum 2010	74.880	309	0.30	688		102	281
Jarðhitastöð, Mutnovsky 2010	32.360				3.600		
Heildarstreymi 2010	107.240	309	0.30	688	3.600	102	281

Í affallsvatni frá jarðhitavirkjunum eru ýmis efni, sem geta valdið mengun ef þau berast í grunnvatnskerfi í miklum styrk. Þau helstu eru arsen, bór, brennisteinsvetni, flúor, kvikasilfur, kadmíum og blý.

Frá hverum og gufuaugum streymir út heitt vatn, gufa og lofttegundir, sem menga umhverfið að einhverju marki. Til að geta metið breytingar, sem stafa af vinnslu, þurfa að vera til upplýsingar um eðlilegar sveiflur í virkni jarðhitasvæða. Vitað er að slíkar sveiflur eru breytilegar frá einu svæði til annars. Mikil óvissa er bundin mati á efnaútstreymi frá náttúrulegum jarðhita og hefur verið gífurlegur munur á þeim tölum, sem birst hafa um náttúrulegt útstreymi efna frá jarðhitasvæðum. Þörf er á að gera umhverfismat á öllum þeim jarðhitasvæðum, sem ætla má að verði virkjuð á næstu áratugum. Meðal annars þarf að rannsaka náttúrulegar breytingar og sveiflur í virkni á svæðunum.

### 3. Reynsla og reglugerðir annars staðar

Þar sem jarðhiti var fyrst virkjaður til raforkuvinnslu, var reynslan sú að nokkur náttúruspjöll hlutust af, einkum efna- og varmamengun, sér í lagi þar sem affalli var veitt beint í ár. Hefur sú reynsla kennt mönnum að fara varlegar í sakirnar síðar meir. Ekki hefur verið brugðist á sama hátt við vandanum, hvað varðar lög og reglur, í hinum ýmsu löndum þó að tæknileg vandamál og lausnir á þeim séu víðast hvar svipuð. T.d. er yfirleitt beitt öðrum ráðum hjá þeim, sem vanir eru yfirborðsjarðhita með sínum gufum og fnyk en hjá hinum, sem allt í einu kynnast slíku við virkjun. Þannig er t. d. skylda í Bandaríkjunum að eyða brennisteinsvetni úr lofti í jarðhitavirkjunum og verður að setja upp hreinsibúnað um leið og orkuver er byggt. Skaðsemismörk H<sub>2</sub>S í lofti eru þar talin vera 0,003 ppm meðan WHO fer fram á 10 ppm. Á Nýja Sjálandi hefur fram að þessu ekki verið krafist eyðingar á brennisteinsvetni. Efnahagslegt

ástand hefur og mikla þýðingu. T.d. eru yfirleitt ekki gerðar sömu kröfur til umhverfisverndar í orkusnaudu þróunarlandi, þar sem menntun er e.t.v. á lágu stigi, og í iðnaðarríki þar sem gnótt er orku en barist hart gegn mengun. Lög og reglur landanna draga gjarna dóm af slíku. Alþjóðalánastofnanir hafa einnig gert kröfur um umhverfismat til að fjármögnun fái til framkvæmda. Þannig hefur Orkustofnun nýlega gert frummat á umhverfisáhrifum jarðhitavirkjunar á Kamchatka. Þar sem Evrópski fjárfestingabankinn (European Bank for Reconstruction and Development) gerði kröfu um slíkt ætti að fást lán til framkvæmdanna.

Reglugerðir í mismunandi löndum taka þannig mið af aðstæðum, félagslegum og efnahagslegum og eru því talsvert mismunandi. Hér verður sagt frá reglugerðum um þrjú svæði, þar sem jarðhiti hefur verið nýttur eða áform eru uppi um að nýta hann.

Kenya er þróunarland, þar sem flestir aðrir orkugjafar en jarðhiti eru fullnýttir. Þar er því lögð áhersla á vinnslu og byggingu nýrra jarðhitavirkjana. Lög um umhverfismál er fremur máttlaus og framkvæmd þeirra í molum. Við virkjun jarðhita hafa þó orðið töluverðir árekstrar við hagsmuni annarra greina, t.d. við blómarækt í Olkaria. Því hefur þurft að hlíta ýmsum lögum öðrum en umhverfislögum og hafa þau í reynd veitt verulega umhverfisvernd. Þá hafa virkjanir verið reistar með tilstyrk lána frá Alþjóðbankanum, sem gerir stífar kröfur um umhverfismat. Þess vegna er ástandið varðandi jarðhita ekki eins slæmt og búast mætti við vegna veikrar umhverfislöggjafar.

Í Nýja Sjálandi er löng reynsla af virkjun jarðhita og viðbrögðum við óæskilegum áhrifum á umhverfi. Landið er þróað og þar er enginn orkuskortur. Þar hafa nýlega verið sett lög um stjórnun auðlinda, en reglugerðir um umhverfismál og jarðhita lagðar fram af héraðsstjórnnum. Stefnt er að því að taka ekki meira en svo af jarðhitinum að hann nái að endurnýja sig (en slíkan munað geta fáir leyft sér) og að hagkvæmni nýtingar sé í hámarki. Til að ná þeim markmiðum er mælt með fjölnotum eins aðila á hverjum virkjunarstað. Þá er og lögð mikil áhersla á gagnasöfnun, varðveislu upplýsinga og fræðslu. Einnig er talið æskilegt að yfirstjórn umhverfismála jarðhita sé á sem fæstum höndum.

Á Hawaii er mikill jarðhiti sem ekki hefur verið virkjaður. Eyjarnar eru í þróðu landi og enginn er þar orkuskortur. Þeir íbúar, sem búa í grennd við fyrirhuguð virkjunarsvæði hafa ekki áhuga á virkjun hans og eru tiltölulega óupplýstir um áhrif hennar. Reglugerðir eru þar margar og þarf að sækja um mörg leyfi til fjölda aðila ef reyna á að virkja. Gæti reynst torsótt að afla allra þeirra leyfa, sem með þarf og auðvelt fyrir andstæðinga virkjunar að beita sér á þeim vettvangi. Þá er stjórnun þessara mála á mörgum höndum og óvíst hve markviss hún yrði í þágu umhverfisverndar.

#### 4. Tengsl jarðhitavirkjana við ný íslensk lög um umhverfismat

Í lögnum um mat á umhverfisáhrifum framkvæmda, sem samþykkt voru á Alþingi í fyrra, eru framkvæmdir vegna jarðvarmavirkjana matskyldar ef varmaafli er 25 MW eða meira að hráorku eða uppsett afl er 10 MW eða meira.

Í töflu 2 er yfirlit yfir starfandi jarðvarmavirkjanir, sem hafa uppsett afl um eða yfir 10 MW og mundu því væntanlega falla undir þessi skilyrði, væru þær á framkvæmdastigi.

**Tafla 2.** Jarðvarmaveitur með uppsett afl um og yfir 10 MW,

Háhitavirkjanir	Lághitavirkjanir		
Kröfluvirkjun	Hitaveita Akraness	Hitaveita Hveragerðis	Hitaveita Sauðárkróks
Nesjavallavirkjun	Hitaveita Akureyrar	Hitaveita Laugaráss	Hitaveita Selfoss
Svartsengisstöð	Hitaveita Blönduóss	Hitaveita Mosfellsbæjar	Hitaveita Seltjarnarness
	Hitaveita Flúða	Hitaveita Ólafsfjarðar	Hitaveita Siglufjarðar
	Hitaveita Húsavíkur	Hitaveita Reykhólts (Bisk)	Hitaveita Þorlákshafnar
	Hitaveita Hvammstanga	Hitaveita Reykjavíkur	

Auk þessara stærðartakmarkana eru ákvæði í lögnum um að framkvæmdir, sem taldar eru valda **umtalsverðum** umhverfisáhrifum skuli hlíta mati. Í viðauka 2 með reglugerð um lögin eru jarðboranir vegna jarðhita- og neysluvatns meðal annars taldar upp sem dæmi um framkvæmdir, sem gætu valdið umtalsverðum umhverfisáhrifum.

Eins og fram kemur í erindi Hákonar Aðalsteinssonar hér á undan skiptist umhverfismat í **frumathugun** og **frekara mat á umhverfisáhrifum**. Eins og lögin eru sett fram miðast umhverfismatið fyrst og fremst við framkvæmdir, en einnig tryggja þau að umhverfismat verði fastur liður í skipulagsáætlunum.

Á sama hátt og gildir við undirbúning vatnsaflsvirkjana er mat á umhverfisáhrifum hluti af forrannsóknnum vegna jarðvarmavirkjana og tekið tillit til þess við mat á hagkvæmustu mögulegu virkjunarkostum hverju sinni. Við rannsóknarboranir á hugsanlegu virkjunarsvæði er og strax metið hvort fara þurfi fram umhverfismat á þeirri framkvæmd sérstaklega. Enn hafa ekki verið samdar leiðsögureglur hjá Skipulagi ríkisins varðandi einstakar framkvæmdir. Hingað til hefur ekki þurft annað leyfi en landeiganda til að hefja borframkvæmdir og kemur því þar ekki til kasta skipulagsyfirvalda eða byggingarfulltrúa að segja til um hvort líklegt sé að fara skuli fram frummat vegna viðkomandi borunar. Ljóst er að jafnvel grunnar borholur geta valdið miklum umhverfisspjöllum sé ekki rétt frá þeim gengið, en mat á því hvort hætta sé á umhverfisspjöllum er nú alfarið í höndum framkvæmdaaðila. Varðandi jarðboranir virðist því þörf á allnákvæmum leiðsögureglum.

Hér að framan voru talin upp helstu sértæku umhverfisáhrif jarðhitanýtingar. Við mat á umhverfisáhrifum fyrirhugaðrar virkjunar jarðhitasvæðis þarf að gera yfirlit um framkvæmdir á svæðinu sjálfu vegna uppbyggingar dreifikerfis og meta heildaráhrif þeirrar framkvæmdar, og horfa þá til náttúrulegra, félagslegra og hagrænna umhverfisáhrifa og einnig til stjórnsýsluáhrifa.

Fram til þessa hafa umhverfismat og markvissar rannsóknir á umhverfisáhrifum ekki verið liður í hönnun jarðhitavirkjana, þótt talsverðar rannsóknir fari oft fram á þáttum sem flokkast undir umhverfismál. Oft skortir verulega á að eftirlit sé haft með umhverfisáhrifum jarðhitavirkjana bæði á byggingarstigi og í rekstri. Flest stór orkuvinnslufyrirtæki hafa metið hættu á grunnvatnsmengun frá orkuverinu áður en nýting hófst og fylgst með ástandi grunnvatns að einhverju marki eftir að orkuverin tóku til starfa. Í tengslum við virkjanir í nánd við þjóðgarða og friðuð svæði eru jafnaðarlega gerðar rannsóknir á lífríki og gróðurfari áður en virkjað er og metið hvort hætta sé á að það spillist við virkjanaframkvæmdir. Eitthvert mat og mælingar á hugsanlegri efnamengun í lofti eru yfirleitt gerðar, en þessum þætti er oft ábótavant og lítið er um eftirlit eftir að vinnsla hefst. Ekki er algengt að fylgst hafi verið með virkni jarðhita á yfirborði né heldur breytingum á henni samfara massatöku og niðurdælingu. Mat á hávaðamengun er liður í vinnueftirliti og því yfirleitt gert. Margir þættir umhverfisspjalla samfara jarðhitanýtingu einkenna hana og eru oft ekki augljósir þeim aðilum, sem um heilbrigðis og umhverfismál fjalla og því er æskilegt að eftirlit með þeim sé í höndum jarðhitafræðinga.

Við rannsóknir á jarðhitasvæðum, einkum háhitasvæðum, vegna stórra virkjana hafa rannsóknir á náttúrulegu umhverfi og náttúruverndarsjónarmið fram að þessu vissulega verið mikilvægur þáttur og fyrirsjáanlega munu lög um umhverfismat ekki auka verulega rannsóknir á umhverfisþáttum. Þó er ljóst að þau munu gera rannsóknarferlið formlegra og markvissara og vægi nokkurra þátta, sem hingað til hefur verið lítið sinnt, mun aukast verulega. Vætanlega munu lög og reglugerð um þau tryggja að eftirlit með umhverfisáhrifum vikjunarframkvæmda og rekstri virkjana, sem hingað til hefur verið lítið, aukist verulega.

Umhverfisrannsóknir vegna lítilla virkjana á lághitasvæðum munu vætanlega aukast meira en slíkar rannsóknir á háhitasvæðunum. Ekki er þó víst að það muni auka verulega kostnað við framkvæmdir þegar til lengri tíma er litið. Undirbúningur verður vætanlega betri en áður og með umhverfisúttekt fæst betri yfirsýn yfir heildaráhrif framkvæmdarinnar og því er minni hætta á óvæntum vandamálum eftir að nýting hefst en áður hefur þekkt.

## 5. Átaksverk um umhverfisáhrif jarðhitanýtingar

Orkustofnun hefur lengi talið þörf á að leggja aukna áherslu á rannsóknir á umhverfisáhrifum jarðhitanýtingar og var því árið 1991 hafið átak á stofnuninni í rannsóknum á þessu sviði. Á ársfundi Orkustofnunar 1991 voru kynntar frumniðurstöður úttektar á helstu umhverfisáhrifum nýtingar jarðhita. Í framhaldi af því var gerð úttekt á stöðu rannsókna á slíkum umhverfisáhrifum á Íslandi og metin rannsóknarþörf vegna umhverfisþátta í samvinnu við stærstu virkjunaraðila jarðhita á háhitasvæðum. Þeir aðilar, sem um er að ræða, eru Landsvirkjun vegna Kröfluvirkjunar og jarðhitasvæðisins í Námafjalli, Hitaveita Suðurnesja vegna jarðhitasvæðanna í Svartsengi, Eldvörpum og á Reykjanesi og Hitaveita Reykjavíkur vegna Nesjavallasvæðisins.

Að lokinni þessari forvinnu var verkefnið **Umhverfisáhrif jarðhitanýtingar sett upp sem samstarfsverkefni milli Orkustofnunar, Hitaveitu Suðurnesja, Hitaveitu Reykjavíkur og Landsvirkjunar.** Umhverfisráðuneytið tekur einnig þátt í samstarfinu og hefur tilnefnt fulltrúa í samstarfsnefnd aðilanna. Um er að ræða átaksverkefni til nokkurra ára og er tilgangur



verkefnisins fyrst og fremst að gera úttekt á stöðu umhverfismála á þeim svæðum, sem þegar eru virkjuð, gera tillögur um eftirlit og rannsóknir tengdar umhverfismálum á þessum svæðum í framtíðinni og koma af stað sérverkefnum á þeim þáttum umhverfisáhrifa jarðhitanýtingar, sem brýnust er talin þörf á að sinna. Á árinu 1991 var unnið að skilgreiningu verkefnisins og hafin kynning og umræður við samstarfsaðila.

Í ársbyrjun 1992 var unnið að nánari skilgreiningu, mótun verksins og samningum við Hitaveitu Reykjavíkur, Hitaveitu Suðurnesja og Landsvirkjun um að vinna átaksverkefnið sameiginlega. Í apríl var undirskifaður rammasamningur um verkið í heild og gengið frá samkomulagi um verkþætti ársins 1992. Verkþættir ársins voru vinna að frumgerð umhverfisúttektar á hverju virkjunarsvæði og allmörg sérverk á sviði umhverfisáhrifa jarðhitavinnslu. Einnig var unnið áfram að mótun fleiri rannsóknarverkefna á því sviði.

Á árinu 1993 var lokið við úttektarskýrslu um stöðu umhverfisrannsókna á virkjunarsvæðum Landsvirkjunar, Hitaveitu Suðurnesja og Hitaveitu Reykjavíkur. Fólst sú vinna að miklu leyti í samantekt á heimildalistum fyrir hvert svæði og frumúrvinnslu heimilda. Einnig var unnið áfram að nokkrum völdum rannsóknarverkefnum, sem snerta umhverfisáhrif jarðhitanýtingar, einkum háhita. Má þar einkum nefna verkþættina:

- \* Mælingar á gasi í andrúmslofti á virkjuðum og óvirkjuðum jarðhitasvæðum
- \* Rannsókn á smáskjálftavirkni á jarðhitasvæðum
- \* Rannsókn á myndun og útbreiðslu gufupúða á virkjunarsvæðum
- \* Landmælingar og þyngdarmælingar á jarðhitasvæðum til að rannsaka áhrif massatöku.
- \* Rannsóknir á grunnvatni
- \* Mat á breytingum á náttúrulegu gufustreymi
- \* Mat á aðferðum til gaslosunar
- \* Tilraunir varðandi niðurdælingu affallsvatns
- \* Athugun á erlendum reglugerðum um umhverfismál jarðhitavinnslu
- \* Þróun fjarkönnunaraðferða til umhverfisrannsókna
- \* Umhverfisáhrif náttúrulegrar jarðhitavirkni

## Gasmælingar

Þótt styrkur ákveðinna gasa í gufu sé þekktur er lítið vitað um styrk þessara gasa í andrúmslofti á virkjunarstöðum og um afdrif þeirra síðar. Mæling á styrk gasa í andrúmslofti á virkjunarsvæðum allra samstarfsaðila í átaksverkinu var því eitt þeirra verkefna, sem talið var brýnt að sinna. Hafnar voru mælingar á gasi í andrúmslofti sumarið 1993 og var mælt í Svartsengi, á Reykjanesi, Nesjavöllum, í Kröflu og Námafjalli. Einnig var mælt á nokkrum óvirkjuðum jarðhitasvæðum, þ.e Krýsuvík, Ölkelduhálsi og Þeistareykjum og einnig í Hveragerði. Miðaðist rannsóknin einkum að því að fá grunnmælingar á styrk brennisteinsgasa, bæði brennisteinsvetnis og brennisteinsdíoxíðs, og sömuleiðis kvikasilfurs.

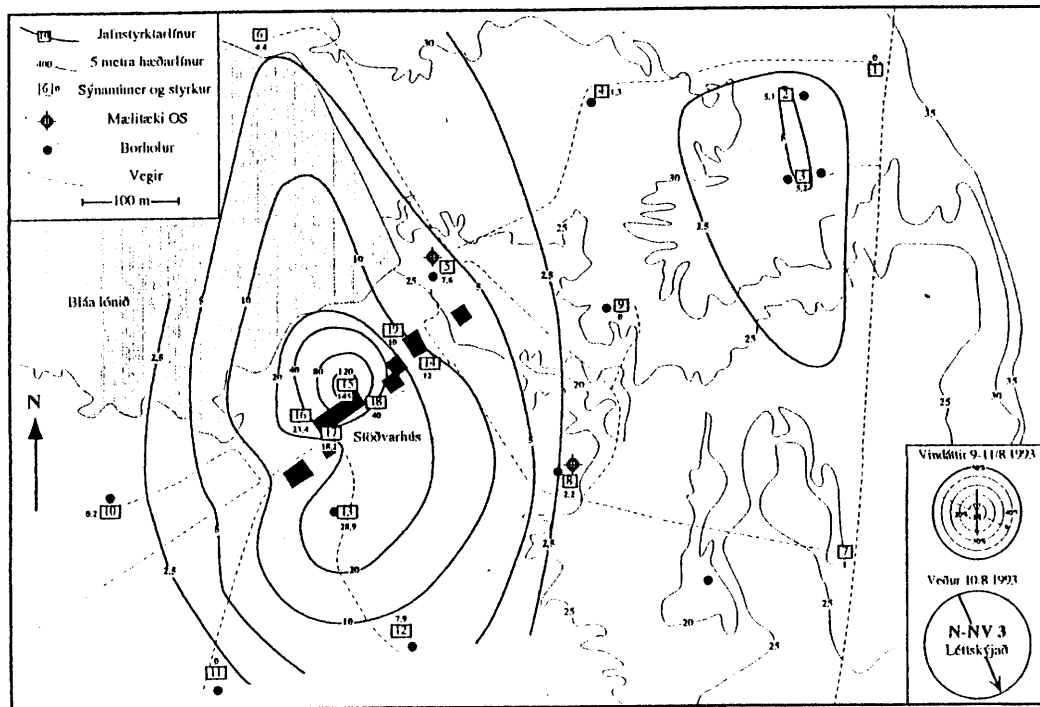
Á hverju virkjunarsvæði var mælt brennisteinsvetni í 10-30 punktum með mæli, sem Hitaveita Reykjavíkur á, en brennisteinsdíoxíð og kvikasilfur voru mæld eftir samfellda söfnun í einn sólarhring á tveimur stöðum á hverju svæði.

Til samanburðar var brennisteinsvetni mælt samhliða á sömu stöðum með samfelldri söfnun yfir sama tímabil. Mælt var með nokkrum mismunandi aðferðum til að fá samanburð á helstu aðferðum, sem notaðar eru við mælingar á brennisteinsgösnum í lofti. Gefin var út skýrsla um niðurstöður mælinganna (Gretar Ívarsson ofl, 1993) og er verkefnið einnig kynnt á veggspjaldi á þessum fundi. Helstu niðurstöður voru þær (tafla 3) að kvikasilfurstyrkur er mjög lágur og nær sá sami og mælist yfir ómenguðum úthöfum. Flestar niðurstöður um brennisteinsdíoxíðstyrk lágu við óvissumörk mæliaðferðar og þyrfti að mæla í lengri tíma en gert var til að fá nákvæm gildi. Mikill breytileiki er í gildum fyrir brennisteinsvetni og brennisteinsdíoxíð milli sýna frá sama sýnatökustað og virðist þar ráða mestu ríkjandi vindátt meðan söfnun stendur yfir (mynd 1). Til að jafna út þessi áhrif væri æskilegt að setja upp

**Tafla 3.** Helstu niðurstöður mælinga Orkustofnunar á brennisteinsvetni, brennisteinsdíoxíði og kvikasilfri í andrúmslofti á jarðhitasvæðum.

STAÐUR	Dagsetning söfnunar	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> Filter	H <sub>2</sub> S µg/m <sup>3</sup> Filter	Hg ng/m <sup>3</sup> Vökvi
Nesjavellir	16-17.07.93		202	
Nesjavellir	16-17.09.93	1,5	38	0,5
Krýsuvík	08-09.09.93	0,6	4	0,5
Hveragerði	21-22.07.93	1,9	4	3,0
Ölkelduháls	27-28.07.93	1,0	37	2,0
Svartsengi	09-10.08.93	0,3	< 1	2,0
Reykjanes	11-12.08.93	0,7	32	1,0
Krafla	24-25.08.93	4,6	45	2,0
Námafjall	25-26.08.93	11,6	83	1,5
Þeistareykir	27-28.08.93	0,8	23	0,5

margar söfnunarstöðvar og safna í nokkuð langan tíma þar sem mjög er háð veðurfari og sérstaklega vindátt hversu mikið mælist. Söfnunarstöðvar eru bæði dýrar í uppsetningu og rekstri og því er tæplega um að ræða að reka margar stöðvar samtímis, en æskilegt væri að reka eina til tvær stöðvar í um sex mánaða skeið. Vegna kostnaðar er lagt til að mælingar nái yfir a.m.k. tvö ár.



Mynd 1. Mælingar á brennisteinsvetni í andrúmslofti í Svartsengi 10. ágúst, 1993 (Gretar Ívarsson o.fl., 1993).

Í tengslum við og í framhaldi af þessum mælingum er áætlað að skoða áhrif andrúmslofts á mannvirki á virkjunarstöðum. Komið er fyrir plötum úr stáli, kopar og áli til að prófa tæringarhraða. Til þess að fylgjast með úða og útfellingu efna úr honum verða settir upp speglar á sömu stöðum og plöturnar.

Nokkrar deildir hafa verið um afdrif brennisteinsvetnis þegar fjær dregur frá jarðhitasvæðum og hefur ekki verið skorið úr um þau með rannsóknum. Vegna alþjóðlegra samninga og reglugerða um losun brennisteinsgasa, sem Íslendingar verða aðilar að á næstunni, er bagalegt að hafa ekki betri vitneskju um þetta atriði. Einnig gæti skipt verulegu máli við mat á kostnaði við jarðhitavirkjanir hvort brennisteinsvetni hvarfast að einhverju marki yfir í brennisteinsdíoxíð eða ekki, þar sem hér á landi er líklegt að mat á nauðsyn hreinsibúnaðar gæti ráðist nokkuð af því.

Veðurstofa Íslands, Orkustofnun og Umhverfisstofnun hafa því tekið sig saman um að gera sameiginlega rannsóknáætlun til að nálgast frekar þetta vandamál. Hvorki er einfalt að gera fræðilega reikninga né að setja upp tilraunir til að komast að hversu mikill hluti brennisteinsvetnisins getur oxast yfir í brennisteinsdíoxíð á tilteknum tíma. Samfelldar mælingar á brennisteinsgösum í mismunandi fjarlægð frá jarðhitasvæðum ættu að skera úr um þetta. Til að fá marktækar upplýsingar þurfa mælingarnar að ná yfir allan tíma og þær þarf að tengja veðurfarsathugunum og efnamælingum á úrkomu. Veðurstofa Íslands hefur um árabil mælt brennisteinsdíoxíð í lofti, sulfat í úrkomu og sulfat í rykögnum í söfnunarstöð tengdri

veðurathugunarstöð á Írafossi. Ekki hafa til þessa fundist merki um að vinnsla á Nesjavöllum hafi haft nein marktæk áhrif á styrk brennisteinsgasa við Írafoss.

Æskilegt væri að gera sams konar mælingar í fleiri áttir út frá Nesjavöllum. Þar sem dýrt er að reka stöðvar og ýmis aðstaða önnur þarf að vera fyrir hendi er hægara sagt en gert að umkringja svæðið með mælistöðvum. Byrjað verður því á að setja upp á næsta ári eina stöð til viðbótar, við Korpu, og einnig verður bætt við mælingum á brennisteinsvetni í Írafossstöð. Þótt mælingarnar fari fram á og umhverfis Nesjavelli hafa niðurstöðurnar almennt gildi fyrir önnur jarðhitasvæði.

### Smáskjálftamælingar

Samin var rannsóknaráætlun 1992 um rannsókn á hugsanlegum áhrifum vinnslu og niðurdælingar affallsvatns á smáskjálftavirkni á jarðhitasvæðinu í Svartsengi. Fyrsti liður þessarar áætlunar var unninn á árinu 1993. Sett var upp net 15 færanlegra skjálftamæla og það rekið í nokkrar vikur til að fá upplýsingar um viðvarandi skjálftavirkni svæðisins og ákveða bestu staðsetningu og fjölda varanlegra skjálftamæla. Síðustu viku prófunarinnar var hafin niðurdæling affallsvatns í svæðið.

Skjálftavirkni á Reykjanesskaga var með minnsta móti þá mánuði, sem mælingarnar stóðu yfir. Engir skjálftar mældust við Svartsengi hvorki fyrir né samfara niðurdælingu í borholu H-6. Með samanburði við niðurdælingartilraunir erlendis verður að telja það eðlilegt, þar sem magn affallsvatns var allt of lítið og lekt svæðisins of mikil til þess að niðurdælingin hefði nokkur áhrif á vökvaprýsting þess. Þessu til viðbótar má benda á að brotmörk bergs hækka ef grunnvatnsborð lækkar, en ein afleiðing þess er fækkun smáskjálfta.

Bylgjubrotsmælingar voru gerðar til að fá upplýsingar um hljóðhraða berglaga svæðisins og til kvörðunar á skjálftaupptökum. Niðurstöður benda til að unnt sé að staðsetja upptök smáskjálfta í jarðhitasvæðinu með innan við 100 m óvissu í láréttu plani og 200 m óvissu í dýpi, ef notaðar eru 6 mælistöðvar eða fleiri.

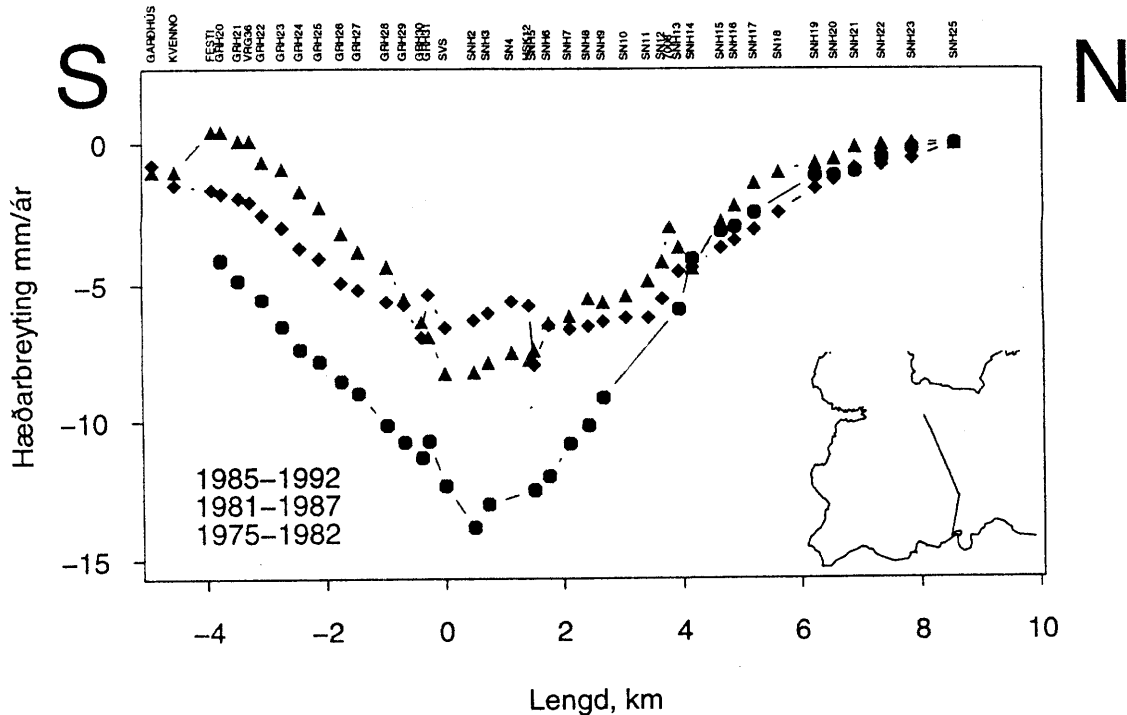
Mælingar á jarðóróa voru gerðar samhliða jarðskjálftamælingunum. Órói með tíðni 8-20 Hz innan jarðskjálftasvæðisins er mjög mikill og mestur við borholurnar. Einnig kemur fram órói með tíðni 4-6 Hz, sem sennilegast tengist jarðhitakerfinu og vert er að kanna upptök hans nánar.

Skýrsla um þessar mælingar er í útgáfu og kynning er á veggspjaldi á þessum fundi. Næsti áfangi í smáskjálftarannsóknnum er langtímarannsókn á skjálftavirkni á svæðinu. Jafnframt er talið að hér sé um að ræða grundvallarrannsóknir, sem hafi gildi fyrir önnur íslensk jarðhitasvæði og verður því leitað fjármögnunar til frekari rannsókna hjá Rannsóknarsjóði Rannsóknarráðs ríkisins og fleiri aðilum.

Gerðar voru tilraunir um kortlagningu gufupúða í Svartsengi með jarðsveiflumælingum. Sprengihætta getur stafað af slíkum gufupúðum og dæmi eru erlendis um dauðaslys vegna gufusprenginga. Tilraunirnar sýndu verulegar hljóðhraðabreytingar innan svæðisins. Ekki er ljóst hvort þessar hljóðhraðabreytingar tengjast gufu í bergi. Til að skera úr um það þarf umfangsmeiri mælingar. TEM viðnámsmælingar eru önnur aðferð, sem gæti nýst til kortlagningar gufupúða, og er lagt til að gerðar verði tilraunir með þá aðferð á næstu árum.

Unnið hefur verið að land- og þyngdarmælingum í samvinnu við Hitaveitu Suðurnesja og Hitaveitu Reykjavíkur og gerðar tillögur um slík verk í samvinnu við Landsvirkjun.

Á árinu 1993 kom út skýrsla um niðurstöður mælinga í mælineti á utanverðum Reykjanesskaga, sem sýna að land sígur samfellt á um 100 ferkílómetra svæði, mest um 1 cm á ári við vinnslusvæðið í Svartsengi (mynd 2). Sýnt er fram á að landhæðarbreytingar eru í beinu hlutfalli við þrýsting í borholum og endurspeglar þannig almenna þrýstingsbreytingu á svæðinu. Þyngdarmælingar sýna óverulegar breytingar. Niðurstöður þessara mælinga eru sýndar á veggspjaldi á þessum fundi.



Mynd 2. Meðalhæðarbreytingar eftir N-S línu gegnum Svartsengissvæðið, á tímabilunum 1975-1982, 1981-1987 og 1985-1992 (Hjálmar Eysteinnsson, 1993).

Unnið hefur verið að grunnvatnskorti í Henglinum í samvinnu við Hitaveitu Reykjavíkur og að athugunum á afdrifum affallsvatns frá Kröfluvirkjun.

Óvissa í mælingum á streymi gufu úr gufuaugum er eitt þeirra vandamála, sem torveldar mat á breytingum á óvirkjuðum svæðum og reyndar einnig mat á breytingum á streymi úr gufuaugum eftir að virkjað er. Þetta atriði er mikilvægt þar sem mjög oft verður veruleg aukning á streymi gufuaugna eftir virkjun vegna aukinnar afgösunar á jarðhitakerfinu í kjölfar aukinnar massatöku úr svæðinu. Gerð var könnun á mögulegum aðferðum til slíkra mælinga og síðan keyptur búnaður í samvinnu við Hitaveitu Reykjavíkur til að prófa við gufumælingar. Búnaðurinn byggir bæði á streymishraða og mismunaprýstingi. Bandaríska jarðfræðistofnunin hefur notað svipaðan búnað til mælinga á gufustreymi í gufuaugum og verður byggt á þeirra reynslu við þróun og aðlögun tækjanna.

Hafin var vinna við sameiginlega úttekt á stöðu og þekkingu á leiðum til gaslosunar. Hitaveita Reykjavíkur hafði í samvinnu við nokkrar verkfræðistofur unnið talsvert starf á þessu sviði með

tilliti til framtíðarvirkjana á Nesjavöllum, og er frekara starf byggt á þeim grunni. Á árinu 1994 verður reynt að ýta áfram vinnu við þennan verkþátt, þar sem minna var unnið við hann 1993 en til stóð. Gerð verður úttekt á leiðum til förgunar brennisteinsvetnis og verður skýrsla, sem unnin var fyrir Hitaveitu Reykjavíkur (Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns og Verkfræðistofa Baldurs Líndal, 1993) lögð til grundvallar við þá vinnu. Einnig verður safnað upplýsingum um aðferðir til hreinsunar gass til vinnslu á hreinni kolsýru úr hveraloftri, þar sem slík iðnaðarnýting minnkar kolsýruústreymi.

Rannsókn á áhrifum sýrustigs á útfellingu og útfellingarhraða í jarðsjó í niðurdælingarvatni í Svartsengi, sem fara átti fram á árinu 1993, hefur tafist vegna þess að niðurdælingin hefur ekki gengið alveg samkvæmt áætlun, en haldið verður áfram við þetta verk á árinu 1994. Metin verða væntanleg áhrif mismikillar íblöndunar þéttivatns, en núverandi reikniforrit ráða ekki við það. Einnig verður lögð áhersla á þróun forrita og þau notuð til þess að bera saman niðurstöður beinna mælinga við reiknuð gildi.

Safnað hefur verið erlendum reglugerðum um umhverfismál varðandi jarðhitavirkjanir og upplýsingum um hvernig staðið er að umhverfisúttekt og eftirliti í slíkum orkuverum, eins og rætt var um fyrr í þessu erindi.

### **Fjarkönnun**

Í samvinnu við Merkjafræðistofu Verkfræðideildar Háskólans hefur verið unnið að þróun á notkun innrauðrar myndatöku á jarðhitasvæðum til að fylgjast með breytingum á varmaflæði. Um er að ræða prófun og stillingu á búnaði Merkjafræðistofu til að hann nýtist til að fylgjast með breytingum á jarðhitasvæðum. Verkefnið hófst á árinu 1993 og var flogið yfir allmörg jarðhitasvæði, bæði virkjuð og óvirkjuð. Rannsóknarsjóður Rannsóknarráðs ríkisins mun styrkja þetta verkefni gegn einnar milljón króna mótframlagi væntanlegra notenda. Kynning á þessu verkefni er á veggspjaldi á þessum fundi.

Unnið hefur verið að úttekt á umhverfisáhrifum náttúrulegs jarðhita og eðlisbreytingum jarðhita með tíma á nokkrum jarðhitasvæðum, sem ætla má að verði virkjuð á næstu áratugum og einnig á einu svæði, sem ekki er útlit fyrir að virkjað verði í bráð.

### **Kostnaður átaksverks**

Heildarkostnaður samvinnuverksins á árinu 1992 varð 14,5 m kr. Sérstök fjárveiting á fjárlögum var 2,2 m kr, en framlag af almennum fjárveitingum Orkustofnunar var 5,3 m kr og afgangurinn var greiddur af samstarfsaðilunum. Á árinu 1993 varð heildarkostnaður um 16,9 m kr. Sérstök fjárveiting til verksins var 2,3 m kr, en framlag af almennum fjárveitingum stofnunarinnar var 7,2 m kr og afgangurinn var greiddur af samvinnuaðilum. Áætlun fyrir 1994 miðar við svipað umfang og undanfarin tvö ár, en endanlegar tölur liggja ekki fyrir.

**Tilvitnanir:**

Department of Health; Department of Land and Natural Resources; Planning Commission. Permits and Statements required for geothermal development, Honolulu, Hawaii.

Gretar Ívarsson, Magnús Á. Sigurgeirsson, Einar Gunnlaugsson, Kristján H. Sigurðsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1993. Mælingar á gasi í andrúmslofti. Styrkur brennisteinsvetnis, brennisteinsdíoxíðs og kvikasilfurs á háhitasvæðum. Samvinnuverkefni Orkustofnunar og Hitaveitu Reykjavíkur. OS-93074/JHD-16, 69 s.

Halldór Ármannsson, Sverrir Þórhallsson og Einar Tjörvi Elíasson, 1991. Helstu áhrif virkjunar jarðhita á umhverfið. Ársfundur Orkustofnunar, OS-91010, 15-43.

Halldór Ármannsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Guðný Þóra Pálsdóttir og Árni Jón Reginsson, 1993. Áhrif vinnslu jarðhita á umhverfið. Framvinduskýrsla um forverk og mótun samvinnuverefnis. Samstarfsverkefni Landsvirkjunar, Hitaveitu Reykjavíkur, Hitaveitu Suðurnesja og Orkustofnunar. OS-93034/JHD-09, 239 s.

Hjálmar Eysteinnsson, 1993. Hæðar-og þyngdarmælingar á utanverðum Reykjanesskaga 1992. Samvinnuverkefni Hitaveitu Suðurnesja og Orkustofnunar. OS-93029/JHD-08, 53 s.

New Zealand Government 1991. Resource Management Act, 382 p.

Sinclair Knight and Partners Pty. Ltd., ESA Pty Ltd. and RPS International 1992. Environmental Assessment. Draft Report, North East Olkaria Power Development Project. The Kenya Power Company Ltd., 320 p.

Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns og Verkfræðistofa Baldurs Líndal 1993. Nesjavallavirkjun. Förgun brennisteinsvetnis, skýrsla unnin fyrir Hitaveitu Reykjavíkur. Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns, Verkfræðistofa Baldurs Líndal, Reykjavík, 114s.

Waikato Regional Council 1992 a. Environmental Directions for the Waikato Region. Waikato Regional Council, Hamilton, 209 p.

Waikato Regional Council 1992 b. Geothermal Management Strategy. Issues and Options. Waikato Regional Council, Hamilton, 50 p.

Waikato Regional Council 1992 c. Geothermal Management Strategy. Management Structure. Waikato Regional Council, Hamilton, 17 p.

## Fundarslit

Sigþór Jóhannesson, formaður stjórnar Orkustofnunar

Fundarstjóri, ágætu gestir

Þá er komið að lokum þessa ársfundar Orkustofnunar. Ársfundinum og ársskýrslunni sem hér liggur frammi er ætlað að kynna þá starfsemi sem fram fer á stofnuninni og vona ég að þeir sem sótt hafa þennan fund fari héðan nokkru fróðari þar um.

Það er ekki tilviljun að öll erindin sem flutt voru hér í dag fjalla á einn eða annan hátt um umhverfisáhrif orkuvinnslu og orkuframkvæmda. Þáttur umhverfisáhrifa í ákvörðunum hefur farið hraðvaxandi á undanförunum árum og á enn eftir að vaxa verulega ef að líkum lætur. Umhverfisrannsóknir verða því stöðugt vaxandi þáttur í undirbúningi orkuvinnslu.

Breyttar áherslur kalla á breytt vinnubrögð. Ákvarðanir í orkumálum eru ekki lengur teknar af verkfræðingum og stjórnáráðgjöfingum eingöngu heldur koma þar margir aðrir að málum. Þetta krefst þess að rannsóknir nái til fleiri þátta en áður og oft á tíðum verður að hafa fleiri lausnir tiltækar til að unnt verði að samræma sjónarmið sem flestra.

Í þeirri efnahagslægd sem ríkt hefur í heiminum undanfarin ár hefur dregið tímabundið úr eftirspurn eftir orku. Hér á landi hefur því dregið mjög úr umræðum um orkumál og ekki er lengur um þau fjallað sem vænlegustu leið þjóðarinnar út úr yfirstandandi efnahagsþrengingum. Í raun er þó samkeppnisstaðan óbreytt. Orkulindirnar eru til staðar, framleiðslukostnaður orku er lágur. Hér er vinnuafli til staðar og kostnaður við aðföng er almennt ekki hærri en í samkeppnislöndunum. Síðast en ekki síst eru okkar orkulindir umhverfishæfari en flestir aðrir orkugjafar.

Í stefnuýfirlýsingu núverandi ríkisstjórnar er skýrt kveðið á um að stefna beri að verulegri uppbyggingu orkufreks iðnaðar í landinu. Orkustofnun hefur talið sér skylt að gera sitt til að sú stefna geti náð fram að ganga, ef færi gefast. Stofnunin hefur því látið þau verkefni sem snúa beint að undirbúningi nýrra virkjana hafa forgang nú á síðustu árum þegar starfsemin hefur verið að dragast saman.

Aldrei verður lögð næg áhersla á að orkurannsóknir eru í eðli sínu langtíma verkefni, rannsóknir nýtast oft ekki fyrr en áratugum eftir að þær hefjast. Með breyttum viðhorfum og því að nú fjalla fleiri aðilar en áður um málin hlýtur rannsóknar- og undirbúningsmínn að lengjast fremur en hitt og ber að varast óraunsæa bjartsýni í þeim efnum.

Í ljósi þessa verður að telja varhugavert að draga úr orkurannsóknnum þrátt fyrir tímabundna lægd í eftirspurn. Varast ber að láta skammtímasjónarmið um hver skuli leggja út fé vegna rannsókna ráða ferðinni í þeim efnum. Rannsóknirnar verður að líta á sem fjárfestingu sem í framtíðinni getur gefið verulegan arð. Í raun er engin ástæða til að líta á orkurannsóknir sem rekstrarútgjöld heldur mætti hugsa sér að þær verði unnt að selja í framtíðinni með verulegum hagnaði. Ég dreg ekki í efa að flestum sem hér eru inni séu þessi sannindi ljós en ekki sakar að brýna menn öðru hverju.

Að lokum vil ég þakka þeim aðilum sem eiga veg og vanda að undirbúningi þessa fundar að ógleymdri ársskýrslu Orkustofnunar sem hér hefur verið lögð fram. Sérstaklega vil ég þakka verkefnisstjórum fundarins, Rögnu Karlsdóttur og Birgi Jónssyni, hönnuði ársskýrslu, Helgu



Sveinbjörnsdóttur og Páli Ingólfssyni, útgáfustjóra.

Ennfremur vil ég þakka fyrirlesurum, fundarstjóra Hauki Tómassyni og öðru starfsfólki fundarins þeirra þátt í hvernig til hefur tekist.

Góðir gestir, um leið og ég segi þessum formlega fundi slitið vil ég fyrir hönd Orkustofnunar þakka ykkur komuna og biðja ykkur að gera svo vel að dvelja hér um stund og þiggja veitingar sem fram verða bornar hér á eftir, jafnframt því sem gefst kostur á að skoða betur veggspjöld sem hér hanga uppi.