

**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

# Ársfundur Orkustofnunar 1996

Reykjavík

21. mars 1996



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

# Ársfundur Orkustofnunar 1996

Reykjavík

21. mars 1996

Orkustofnun - OS-96013

ISBN 9979-827-69-6

## ÁRSFUNDUR ORKUSTOFNUNAR 1996

**haldinn fimmtudaginn 21. mars kl. 13:30 að Borgartúni 6**

### Dagskrá:

- 13:30 *Ávarp iðnaðarráðherra, Finns Ingólfssonar*
- 13:45 *Umræður og fyrirspurnir*
- 14:20 *Stefna og skipulag í orkumálum og orkurannsóknir á vegum ríkisins*  
Jakob Björnsson, orkumálastjóri
- 15:00 *Umræður*
- 15:05 *Þjóðhagslegur ávinningur af nýtingu jarðhita á Íslandi.*  
Guðmundur Pálmason, forstjóri Jarðhitadeildar
- 15:35 *Umræður*
- 15:40 *Kaffi*
- 16:00 *Rannsóknir á framburði vatnsfalla. Fyllast uppistöðulón og rofnar ströndin eftir að virkjun er reist*  
Haukur Tómasson, forstjóri Vatnsorkudeildar og Svanur Pálsson, landfræðingur
- 16:35 *Umræður*
- 16:40 *Fundarslit*  
Eyjólfur Árni Rafnsson, formaður stjórnar Orkustofnunar.
- 16:50 *Mynda- og Veggspjaldasýning*  
*Boðið upp á léttar veitingar*
- 18:00 *Dagskrárlök*

Fundarstjóri: Jón Haukur Guðlaugsson

**STEFNA OG SKIPULAG Í ORKUMÁLUM  
OG ORKURANNSÓKNIR Á VEGUM RÍKISINS**

**Jakob Björnsson, orkumálastjóri**

## STEFNA OG SKIPULAG Í ORKUMÁLUM OG ORKURANNSÓKNIR Á VEGUM RÍKISINS

Jakob Björnsson, orkumálastjóri

### 1. Inngangur

Venju samkvæmt mun ég í þessu erindi fyrst rekja í stuttu yfirliti starfsemi Orkustofnunar 1995, en vísa ykkur að öðru leyti til ársskýrslu stofnunarinnar þar sem starfsemin er ítarlega rakin. Þar á eftir mun ég snúa mér að aðalefni erindisins sem er að fjalla um stefnu og skipulag í orkumálum og orkurannsóknir á vegum ríkisins.

### 2. Orkustofnun 1995

#### 2.1 Vatnsorkurannsóknir

Á árinu 1995 var fram haldið rannsóknum sem miðast við að hafa í tíma lokið hlut Orkustofnunar í undirbúningi virkjana sem dygðu til að mæta orkubörfum tveggja til þriggja stórra álvera á næstu tveimur áratugum og lagningu tveggja sæstrengja eftir svo sem 15 - 20 ár, auk nokkurra smærri iðjuvera og almennrar raforkunotkunar. Að auki miðast rannsóknir þessar við að geta bent í tíma á hentuga virkjunarkosti til að mæta hægari þróun eftirspurnar.

Þeir virkjunarkostir sem athyglinni var aðallega beint að á liðnu ári voru Skaftárveita til Tungnaár, Hraunavirkjun, virkjun Austari-Jökulsá í Skagafirði frá Austurbugi út Nýjabæjarfjall ásamt veitu Vestari-Jökulsár í Blöndulón, virkjun Jökulsár á Fjöllum og Jökulsár á Brú og virkjun Skjálfafljóts ofan Íshólsvatns. Samvinna var við Landsvirkjun um sum þessara verkefna.

Vatnamælingar eru stór þáttur í rannsókn þessara staða. En auk þess var unnið að mörgum öðrum vatnamælingaverkefnum. Mikil vorflóð 1995 gáfu færi á að endurbæta rennslislykil á 26 mælistöðum. Haldið var áfram forritun á nýju gagnavinnslukerfi sem Orkustofnun og Landsvirkjun standa sameiginlega að og nefnist á nútíma skammstöfunarmáli GALVOS. Byrjað var á kortatengdri skrá um straumvötn og stöðuvötn á Íslandi í samvinnu við Landmælingar Íslands. Jöklamælingum var fram haldið. Óvenjumikil leysing var á jöklum 1995, þannig að umframleysingin nam umtalsverðum hluta af rennsli helstu virkjunarána.

Mælt var fyrir yfirlitskort við Skjálfafljót á svæðinu milli Íshólsvatns og Vonarskarðs. Um 40 punktar í mælinetum Orkustofnunar voru tengdir við nýtt grunnstöðvanet sem byggir á GPS-gervituglamælingum, í samstarfi við Landmælingar Íslands og þýsku landmælingastofnunina IfAG. Unnið var að jarðfræðikortlagningu og grunnvatnsrannsóknum á vatnasvæðum Jökulsána eystri og vestari í Skagafirði, Jökulsár á Fjöllum og Brú, Skaftár og á Hraunum svo og fyrir Landsvirkjun við fyrirhugaða Hágöngumiðlun. Unnin voru þjónustuverk fyrir marga aðila á sviði vatnsverndar og skipulags, jarðfræðikortlagningar og í tengslum við mannvirkjagerð.

## 2.2 Jarðhitarannsóknir

Fram var haldið rannsóknum á notkun háhita til raforkuvinnslu. Í Brennisteinsfjöllum lauk útvinnu við frumrannsókn á árinu. Í ljós kom að háhitasvæðið er stærra en ætlað var og getur líklega staðið undir 100 MW raforkuvinnslu. Jarðfræðikortlagningu, viðnámsmælingum og jarðefnafræðilegum athugunum var haldið áfram við Torfajökul. Meiri jarðhitavirkni fannst í suðausturhluta þess svæðis en vitað var um. Einnig var haldið áfram mælingum á forðafræðistuðlum í mismunandi tegundum af íslensku bergi, þ.e. á gropi, lekt og eðlismassa. Af mælingunum má ráða að móberg sé mjög heppilegt geymsluberg fyrir jarðhita. Þessar mælingar, sem gerðar eru að hluta í samvinnu við erlenda háskóla og stofnanir, eru mikilvægar til að átta sig á eðli háhitageyma og hegðun þeirra í vinnslu.

Athuguð voru á fræðilegan hátt áhrif niðurdælingar á vinnslutilhögun á háhitasvæðum. Fyrstu niðurstöður benda til að betri nýting í vinnslu náist með því að dæla niður í jaðra jarðhitakerfis, eða með tvíþólsvinnslu, en með því að dreifa niðurdælingarholum jafnt innan um vinnsluholur, svo og til þess að niðurdæling hafi ekki mikil áhrif á orkugetu svæðis ef lektin í berginu er mikil og aðstreymi gott. Til að niðurdæling hafi marktæk áhrif verður að dæla niður svipuðu vatnsmagni og upp er tekið.

Þá var einnig fram haldið rannsókn á umhverfisáhrifum jarðhitavinnslu á háhitasvæðum. Mæld voru brennisteinsgös í andrúmslofti við Námafjall og á Nesjavöllum og prófanir gerðar á úða og tæringu. Áfram voru rannsökuð afdrif brennisteinsvetnis í andrúmslofti í samvinnu við Veðurstofnuna og unnið að þróun fjarkönnunarbúnaðar til slíkra umhverfisrannsókna í samvinnu við Merkjafræðistofu Háskóla Íslands. Efnarannsóknarstofa var rekin með svipuðu sniði og undanfarið.

Áfram var einnig unnið að þróun jarðeðlisfræðilegra mælinga; þar á meðal forrits til til þrívíðrar túlkunar á viðnámsmælingum.

Þjónustuverkefni voru eins og áður unnin fyrir fjölmarga aðila innan og utan orkugeirans.

Jarðhitaskólinn var rekinn með svipuðu sniði og áður. Sextán nemendur frá tíu löndum sóttu skólann, sem er meira en nokkru sinni áður. Á árinu hlaut skólinn og forstöðumaður hans, dr. Ingvar Birgir Friðleifsson, mikilvæga viðurkenningu þegar Ingvari voru í september veitt Boutros Ghali verðlaunin við hátíðlega athöfn í aðalstöðvum Háskóla Sameinuðu þjóðanna í Tókíó, ásamt fjórum öðrum.

## 2.3 Orkubúskaparrannsóknir

Gagnasöfnun um orkumál var með svipuðum hætti og áður. Upplýsingar um íslensk orkumál voru sendar með hefðbundnum hætti til alþjóðasamtaka eins og Sameinuðu þjóðanna, NORDEL, OECD og Alþjóðlega orkuráðsins, (WEC), og Norrænu ráðherranefndarinnar.

Fram var haldið vinnu við orkuspár á vettvangi Orkuspárnefndar. Á hennar vegum starfa þrjú vinnuhópar sem fjalla um raforku, jarðhita og eldsneyti; allir með fulltrúum frá samstarfsaðilum þeim sem að nefndinni standa. Á árinu kom út á vegum nefndarinnar ný eldsneytisspá fyrir tímabilið 1995 - 2025.

## 2.4 Fjármál

Bókfærð útgjöld Orkustofnunar 1995 námu alls tæpum 379 milljónum króna borið saman við 364 milljónir 1994. Raunvirði útgjalda stofnunarinnar hækkað því um 2,7 % milli þessara ára. Fjárveitingar námu 213,2 milljónum króna en voru 207,9 milljónir árið á undan og stóðu því nánast í stað að raungildi. Sértekjur námu 153,0 milljónum króna en voru 149,9 milljónir árið á undan og stóðu því einnig í stað að raungildi. Höfuðstóll Orkustofnunar í árslok var jákvæður um 5,4 % af rekstrartekjum ársins (fjárveitingu og sértekjum) borið saman við 9,1 % í árslok 1994. Höfuðstóllinn lækkaði um 12,8 Mkr. milli 1994 og 1995 samkvæmt ákvörðun stjórnar og orkumálastjóra þar eð stefnt er að sem næst 17 Mkr. höfuðstól í lok hvers árs sem talið er hæfilegt til að mæta tímamun í útgjöldum og tekjum af söluverkum. Hann nam 19,8 Mkr. í árslok 1995.

## 2.5 Endurskipulagning Orkustofnunar

Ég get ekki skilist svo við umfjöllun mína um starfsemi Orkustofnunar 1995 að ég minnst ekki á þá endurskipulagningu á starfsháttum hennar sem nú er unnið að samkvæmt ákvörðun iðnaðarráðherra og gengur út á að skilja stjórnsýsluhluta starfseminnar, orkubúskaparmál og skipulagningu á orkurannsóknnum ríkisins og umsjón með framkvæmd þeirra frá sjálfri framkvæmd rannsóknanna og frá söluverkum. Breyting þessi er liður í þeirri nýskipan í ríkisrekstri sem stjórnvöld hafa boðað nú undanfarið og unnið er að.

Á eitt vil ég leggja alveg sérstaka áherslu í því sambandi. Á Orkustofnun hefur á undanförmum áratugum byggst upp öflugt fjölfaglegt rannsóknarumhverfi sem spannar mismunandi svið vísinda og er um margt einstætt hér á landi og hefur vakið athygli erlendra manna sem hafa kynnst því. Þetta rannsóknarumhverfi er mjög verðmætt og ég er sannfærðum um að það væri mikill skaði fyrir alla ef það glatast við nýskipanina og starfsmenn sem nú starfa saman á Orkustofnun fara sinn í hverja áttina og margir í önnur störf en orkurannsóknir. Þetta umhverfi þarf að varðveita af fremsta megni við breytinguna. Ég veit að nú er að því unnið að finna leiðir til þess. Vonandi tekst það. Þetta er sameiginlegt hagsmunamál orkuiðnaðarins í landinu, sem um áratugi hefur keypt rannsóknarverk af Orkustofnun, og hennar sjálfrar eftir breytinguna. Því betur sem tekst að varðveita þetta heildstæða rannsóknarumhverfi því auðveldar er fyrir Orkustofnun að kaupa þessar rannsóknir að. Þetta getur því skipt sköpum um það hversu nýskipanin tekst. Orkuiðnaðurinn á hér einnig ríkra hagsmuna að gæta og ég vil því nota þetta tækifæri til að hvetja þá fulltrúa hans sem hér eru staddir til að gera sitt ítrasta til að þær tilraunir sem nú eru gerðar til að varðveita þetta heildstæða rannsóknarumhverfi Orkustofnunar beri tilætlaðan árangur.

## 3. Íslensk orkustefna til þessa og í framtíðinni

### 3.1 Orkustefna á Íslandi til þessa

Orkustefna, eða stefna í orkumálum, þ.e. kerfisbundin viðleitni stjórnvalda til að ná tilteknum markmiðum í öflun orku, flutningi hennar, dreifingu og sölu, er hugtak sem ekki kom í almenna notkun fyrr en upp úr fyrri olíukreppunni 1973-1974. Í mörgum einstökum löndum kom hún þó fram fyrr. Þannig má telja að hér á landi hefjist hún með Raforkulögunum frá 1946 sem tóku gildi 1. janúar 1947. Með þeim var sú stefna mörkuð að allir á Íslandi skuli



eiga aðgang að rafmagni til nota á heimilum og í atvinnurekstri eftir því sem frekast verður við komið. Árið 1954 samþykkti Alþingi þingsályktun um rafvæðingu sveitanna, svonefnda tíu ára áætlun. Þegar sveitarafvæðingunni lauk, seint á níunda áratugnum, höfðu nánast öll byggð ból á Íslandi, að undanskyldum fáeinum afskekktum eyjum, verið tengd við samveitukerfið og meira en 99,99 % landsmanna fengið rafmagn frá almenningsrafveitum borið saman við 66,6 % 1945. Það er vel af sér vikið af einu strjálbýlasta landi Evrópu og er afrek sem Íslendingar mega vera stoltir af. Og það sýnir betur en margt annað hvíllíkar gífurlegar breytingar hafa orðið á lífskjörum og lífsháttum Íslendinga á síðari hluta 20. aldar.

Næsta dæmið um móttun orkustefnu hér á landi er samþykkt laga nr. 55/1961 um Jarðhitasjóð og Jarðboranir ríkisins. Með þeim tók ríkið að sér að stuðla að því að sem flestir landsmenn geti hitað hús sín með jarðhita. Þetta gerir ríkið með því að leita, þar á meðal með borunum, eftir heitu vatni og gufu í rannsóknarskyni viðs vegar um land til hagnýtingar í hitaveitum til almenningsþarfa, ræktunar, raforkuvinnslu og iðnaðar. Til að fjármagna þetta var stofnaður sérstakur sjóður, Jarðhitasjóður, í eigu ríkisins, undir stjórn raforkumálastjóra. Jarðborunum ríkisins var jafnframt ætlað að bora fyrir sveitarfélög og einstaklinga "eftir því sem við verður komið" eins og segir í lögnum, gegn greiðslu kostnaðar. Athyglisvert er ákvæði þessara laga um að þegar jarðhiti sem fundist hefur með leit samkvæmt þessum lögum er hagnýttur skuli leitar- og borkostnaðurinn endurgreiddur í Jarðhitasjóð með vöxtum.

Með Orkulögum nr. 58/1967 var Jarðhitasjóður sameinaður Raforkusjóði, sem var stofnsettur með Raforkulögnum frá 1946, í Orkusjóð sem settur var undir stjórn þingkjörins ráðs, Orkuráðs, sem var arftaki Raforkuráðs, en það var einnig þingkjörið. Nýrri stofnun, Orkustofnun, var falið að annast þær jarðhitarannsóknir sem ríkið kostar ásamt rannsóknnum á vatnsorku sem raforkumálastjóri hafði haft með höndum, en Orkustofnun kom í stað þess embættis. Endurgreiðsluákvæðinu er haldið og nú skal allur kostnaður Orkustofnunar af rannsóknnum bæði vatnsorku og jarðhita endurgreiddur í Orkusjóð ef niðurstöður þeirra eru hagnýttar við undirbúning orkuframkvæmda. Þetta er mikilvægt stefnuatriði: Ríkið er með þessu að fjárfesta í framtíðarnýtingu orkulindanna, og ætlast til endurgreiðslu, en ekki að útdeila óendurkræfum styrkjum.

Sem þriðja þátt íslenskrar orkustefnu má nefna viðleitni stjórnvalda til að tryggja landsmönnum örugg aðföng á eldsneyti, einkanlega olíuvörum, á viðunandi verði. Á þetta er líklega hvergi minnst í löggjöf en það hefur engu að síður verið mikilvægur þáttur íslenskrar orkustefnu, jafn mikilvægt og eldsneyti er fyrir íslenskan þjóðarbúskap; ekki síst fiskveiðarnar.

Fjórdi þáttur íslenskrar orkustefnu má segja að hafi verið spunninn með setningu laganna um Landsvirkjun 1965. Hann felur í sér nýtingu íslenskra orkulinda til raforkuorkufreks iðnaðar. Allir iðnaðarráðherrar sem setið hafa síðasta aldarfjórðung hafa fylgt þessari stefnu þótt þá hafi greint á um tilhögun á framkvæmd hennar. Hægt hefur gengið síðustu tvo áratugi að framkvæma hana, allt fram til síðasta hausts þegar samið var um stækkun álversins í Straumsvík.

Sem fimmta þátt íslenskrar orkustefnu vil ég nefna þá ákvörðun stjórnvalda að draga eftir föngum úr losun Íslendinga á koltvísýringi sem fylgir allri brennslu á eldsneyti. Hér er raunar um að ræða sameiginlega stefnumörkun í orkumálum og umhverfismálum og í samræmi við hana undirrituðu íslensk stjórnvöld viljayfirlýsingu um að losun á koltvísýringi á Íslandi verði ekki meiri árið 2000 en hún var 1990.

Sem sjötta þátt íslenskrar orkustefnu má svo telja það, að Ísland hefur gerst aðili að fyrri hluta samnings um Orkusáttmála Evrópu. Að því er tekur til landa innan EES-svæðisins felur þessi samningur ekki í sér neitt umfram EES-samninginn, en Orkusáttmálasamningurinn nær einnig til landa utan EES : Bandaríkjana, Kanada, Japans og Ástralíu auk ríkja Austur-Evrópu og þeirra ríkja sem áður mynduðu Sovétríkin. Með samningnum er í orkumálum víkkað til fleiri landa það fjölbjóðlega umhverfi sem felst í EES-samningnum gagnvart aðildarríkjum hans.

### 3.2 Íslensk orkustefna í framtíðinni

Það stefnumið sem menn settu sér með Raforkulögum frá 1946, og síðar Orkulögum frá 1967, að sjá öllum landsmönnum fyrir rafmagni til almennra þarfa, hefur nú náðst með því að meira en 99,99 % landsmanna fá nú raforku frá almenningsrafveitum. Stefnumið laganna frá 1961, og Orkulaga frá 1967, að stuðla að nýtingu jarðhita til húshitunar og annarra þarfa hefur einnig að langmestu leyti náðst með því að jarðhiti sér nú fyrir 85 % af orkubörf landsmanna til húshitunar í stað 45 % 1973 og nýting hans til gróðurhúsa, sundlauga og iðnaðar hefur einnig vaxið verulega. Aftur á móti hefur gengið hægt að nýta orkulindirnar til orkufreks iðnaðar og engar horfur sýnst á því að Íslendingar nái því að halda losun sinni á koltvísýringi árið 2000 á sama stigi og 1990. Á ákvæði Orkusáttmálasamningsins hefur ennþá ekkert reynt.

Vandi Íslands í orkumálum er ekki sá, að afla notendum nægrar orku, eins og flestra annarra iðnríkja, heldur hinn, að finna notendur að orku Íslands. Það er því líklegt að viðleitnin til að hámarka arðsemi þjóðarbúsins af orkulindunum, innan marka sem önnur stefnumið stjórnvalda setja, svo sem í umhverfismálum, verði burðarstrengur íslenskrar orkustefnu í framtíðinni, ásamt því að reyna að halda losun koltvísýrings í skefjum. Þetta tvennt er ekki óháð hvort öðru. Íslensku orkulindunum fylgir hverfandi lítill koltvísýringur í samanburði við eldsneyti. Nýting þeirra, fremur en eldsneytis, til orkufreks iðnaðar stuðlar þannig beinlínis að því að draga úr losun á honum í heiminum í heild. Þessir tveir meginþættir íslenskrar orkustefnu í framtíðinni stefna að þessu leyti að sama marki.

Innflutt eldsneyti mun um langa hríð enn, líklega nokkra áratugi, gegna mikilvægu hlutverki í íslenskum orkubúskap. Örugg aðföng á því á viðunandi verði verður því áfram gildur þáttur í íslenskrí orkustefnu.

Framkvæmd þessarar stefnu fer síðan fram í því fjölbjóðlega umhverfi sem skapað er af EES-samningnum og Orkusáttmálasamningi Evrópu.

## 4. Skipan orkumála á Íslandi nú og í framtíðinni

### 4.1 Núverandi skipan

Með Raforkulögum frá 1946 var í fyrsta sinn hér á landi lögfest ákveðin skipan á þeim hluta orkumála sem lýtur að vinnslu, flutningi, dreifingu og sölu á raforku til almennra notenda. Meginatriðið í þeirri skipan var það, að ríkinu var fenginn einkaréttur til vinnslu raforku. Til þess að annast vinnsluna var stofnað sérstakt ríkisfyrirtæki, Rafmagnsveitur ríkisins, er skyldi selja raforkuna í heildsölu til dreifiveitna. Héraðsrafmagnsveitur skyldu annast dreifinguna og hljóta til þess einkarétt frá ráðherra orkumála innan marka orkusvæðis sem hann ákveður. Sveitarfélög skyldu hafa forgangsrétt til slíks einkaleyfis en Héraðsraf-

magnsveitur ríkisins þar sem sveitarfélög notuðu hann ekki. Þessi aðskilnaður vinnslunnar frá dreifingu og sölu var grundvallaratriði í þessari skipan.

Með lögnum um Landsvirkjun frá 1965, sem voru endurskoðuð 1983, var horfið frá einkarétti ríkisins til raforkuvinnslu. Stofnað var sérstakt fyrirtæki, Landsvirkjun, er eingöngu skyldi stunda raforkuvinnslu en selja raforkuna annaðhvort í heildsölu til dreifiveitna eða til sérstakra notenda eftir sérsamningum, "að svo miklu leyti sem almenningsrafveitur hafa ekki milligöngu um slíka sölu" eins og segir í lögnum. Voru þar fyrst og fremst höfð í huga raforkufrek stóriðjufyrirtæki. Og með Orkulögum nr 58/1967 var lögfest sú skipan að leyfi Alþingis þarf til að reisa öll raforkuver stærri en 2 MW.

Með Orkulögum var líka í fyrsta sinn komið fastri skipan á hitaveitumál og eignarrétt á jarðhita, en eignarrétti á vatnsorku hafði verið skipað þegar með Vatnalögum frá 1923, sem enn eru í gildi. Orkulögin gera ráð fyrir að eignarréttur á jarðhita fylgi eignarrétti á því landi sem jarðhitinn finnst í, á sama hátt og Vatnalögin gera ráð fyrir að réttur til að nýta vatnsorku fylgi eignarrétti á landinu sem hún er á. Um hitaveitur til almenningsþarfa er sú skipan lögfest að ráðherra geti veitt einkaleyfi til að reka slíkar veitur á orkusvæði sem hann ákveður mörk á. Sveitarfélög eiga forgangsrétt til að fá slíkt einkaleyfi.

Orkulög hafa ekki að geyma ákvæði um innflutning, dreifingu og sölu á eldsneyti. Þar hefur markaðsöflunum verið treyst til að ráða ein fram úr málum, en þó með margvíslegum afskiptum ríkisvaldsins, svo sem varðandi verðjöfnun á eldsneyti og á tímabili einnig varðandi sjálfan innflutninginn þótt svo sé ekki lengur.

Lögin hafa líka að geyma ákvæði er fela í sér þá stefnumörkun sem áður er um getið að ríkið stuðli með rannsóknum að nýtingu vatnsorkunnar og jarðhitans.

## 4.2 Skipan orkumála í framtíðinni

Orkulögin frá 1967 verða þrítug á næsta ári. Það er því tími til kominn að endurskoða þau. Líklegt er þó að margt muni haldast óbreytt eða lítið breytt þrátt fyrir endurskoðun, svo sem núverandi skipan á innflutningi á eldsneyti og sölu á því og einnig í meginatriðum það fyrirkomulag sem nú ríkir á hitaveitum til almenningsþarfa. Helst má vænta ráðstafana til að efla samkeppni í sölu eldsneytis.

En veigamestu breytinganna er að vænta á sviði raforkumála. Þar er margra kosta vöð og ég ætla mér ekki þá dul að gera hér grein fyrir þeim öllum. Raforkuvinnsluiðnaðurinn gengur nú víða um heim í gegnum meiri breytingar en um langan aldur áður. Sumar þeirra eru mjög róttækar og fela í sér fráhrarf frá ýmsum grundvallarhugmyndum sem fylgt hafa þessum iðnaði allt frá upphafi hans fyrir rúmum hundrað árum. Þannig hefur hingað til víða um heim verið litið á vinnslu, flutning, dreifingu og sölu á raforku til almenningsþarfa fremur sem almannahjónustu en eiginlegan iðnað. Á síðustu árum gætir hinsvegar víða tilhneiginga til að hverfa frá þessu sjónarmiði og líta á raforku sem hverja aðra vöru sem seld sé á markaði og treysta fremur á samkeppni en opinbert eftirlit til að tryggja hag notandans.

Af þeim fjölmörgu möguleikum sem hér getur verið um að velja ætla ég aðeins að minnst á tvo sem skoða má sem einskona ytri mörk þess sem valið stendur um. Þessar tvö einskona skipanir raforkumála vil ég nefna *einkasöluskipanina* og *samkeppnisskipanina*.

### ***Einkasöluskipanin :***

Eitt fyrirtæki með einkarétti annast vinnslu, flutning, dreifingu og sölu á rafmagni til allra notenda, stórra og smárra, um allt land. Fyrirtækið hefur einkarétt á þessari starfsemi allsstaðar. Ríkið gerir sérstakan samning við það um þær kröfur um gæði rafmagnsins og öryggi í afhendingu þess sem uppfylla verður og um út frá hvaða sjónarmiðum verð raforkunnar skuli ákveðið. Ríkið hefur síðan virkt eftirlit með því að þessi skilyrði séu haldin að viðlögðum missi einkaréttarins, og það verður að samþykkja rafmagnsverðið og breytingar á því. Slíkt fyrirtæki getur verið hvort heldur sem er í opinberri eign eða einkaeign.

### ***Samkeppnisskipanin***

Vinnsla, flutningur og dreifing eru algerlega aðskilin fjárhagslega. Í vinnslunni starfa mörg fyrirtæki sem keppa innbyrðis. Sérstakt fyrirtæki rekur flutningskerfið sem er öllum opið til flutnings gegn gjaldi sem háð er opinberu eftirliti. Dreififyrirtæki hafa einkarétt hvert á sínu svæði en einstakir rafmagnsnotendur geta samt keypt raforku hvar sem er og dreififyrirtækið er skyldugt til að flytja hana til þeirra gegn sanngjörnu gjaldi sem einnig er háð opinberu eftirliti. Treyst er á samkeppnina til að tryggja hag notenda og opinbert eftirlit með verði er takmarkað við þau svið þar sem henni verður ekki við komið, svo sem flutninginn og dreifinguna til endanlegra notenda.

Ekkert dæmi er finnanlegt neinsstaðar í heiminum sem fellur nákvæmlega að þessari lýsingu. Sú tilhögun sem er á raforkumálum í Frakklandi nálgast mjög einkasöluskipanina og sú sem ríkir í Noregi er mjög nærri samkeppnisskipaninni.

## **5. Orkurannsóknir á vegum ríkisins og tengsl þeirra við skipan orkumála**

### **5.1 Hverskonar hagnýtar rannsóknir eru yfirleitt unnar á vegum ríkis ?**

Hér verður einungis fjallað um svonefndar hagnýtar rannsóknir, þar sem markmiðið er efnahagslegur ávinningur, en ekki akademískar rannsóknir, þar sem markmiðið er þekking þekkingarinnar vegna, án tillits til hagræns gildis hennar.

Í öllum iðnríkjum, og raunar víðar, eru stundaðar rannsóknir með efnahagsleg markmið fyrir augum bæði af atvinnufyrirtækjum og opinberum stofnunum. Enda þótt ekki séu mjög skýr mörk milli þeirra rannsókna af þessu tagi sem atvinnufyrirtæki annarsvegar stunda og hið opinbera hinsvegar eru það samt vissar tegundir þeirra öðrum fremur sem opinberir aðilar hafa með höndum. Þær eru :

5.1.1 Rannsóknir í þágu varnarmála. Þær hafa verið og eru fyrirferðarmiklar í mörgum löndum en hafa ekki verið stundaðar hér á landi og verða það tæplega.

5.1.2 Rannsóknir þar sem árangur sá sem eftir er leitað er ekki líklegur til að skila sér fyrir en eftir lengri tíma en þann sem fyrirtæki miða yfirleitt áætlanir sínar við og þau hafa af þeim sökum takmarkaðan áhuga á, jafnvel þótt árangurinn geti verið verulegur til

lengri tíma litið.

- 5.1.3 Rannsóknir þar sem mjög mikil óvissa ríkir um árangur enda þótt hann geti verið mikill og skilað sér innan áætlunartíma fyrirtækja.
- 5.1.4 Rannsóknir þar sem mikill árangur er líklegur innan áætlunartíma fyrirtækis en hann er þess eðlis að illmögulegt er fyrir einstök fyrirtæki að halda honum fyrir sig. Ef slíkar rannsóknir eru á sviði þar sem ekki er um samkeppni að ræða er algengt að þær séu stundaðar í samvinnu fyrirtækja. Það er hins vegar ekki mögulegt þar sem samkeppni ríkir.

## 5.2 Orkurannsóknir á vegum íslenska ríkisins

Gera verður ráð fyrir að sömu grundvallarsjónarmið muni ráða því hvaða hagnýtar rannsóknir íslenska ríkið kostar í framtíðinni, beint eða óbeint, að teknu vissu tilliti til sérstakra aðstæðna sem leiða af smæð hins íslenska samfélags. Þetta gildir jafnt um orkurannsóknir sem aðrar hagnýtar rannsóknir.

Frá sjónarmiði ríkisins eru orkurannsóknir á þess vegum tæki, eitt af mörgum, til að ná fram eða stuðla að þeim markmiðum sem orkustefna hins opinbera miðar að.

Út frá þessari viðmiðun má telja eðlilegt að íslenska ríkið kosti eftirtaldar orkurannsóknir í framtíðinni, eða sjái með öðrum hætti til þess að þær séu framkvæmdar :

- 5.2.1 Öflun grundvallarupplýsinga um íslensku orkulindirnar, eðli þeirra og skilyrði til hagnýtingar.
- 5.2.2 Þróun aðferða, tækja og búnaðar eða iðnferla til að rannsaka orkulindir, virkja þær og hagnýta orkuna með nýjum hætti í iðnferlum eða á annan veg, þar sem árangur getur orðið verulegar en hann er annaðhvort

- svo óviss eða
- skilar sér svo langt úti í framtíðinni eða
- kemur að svo almennum notum

að einstökum orku- eða iðnfyrirtækjum er ekki ætlandi að kosta þær.

- 5.2.3 Rannsóknir í orkubúskap þjóðarinnar. Þær varða þjóðarbúskapinn og samhengi hans við orkunotkun og eru þess eðlis að tæplega er öðrum til að dreifa að kosta þær en ríkinu.

## 5.3 Samhengi rannsókna á orkulindunum sem ríkið kostar við skipulag orkumála.

Íslensku orkulindirnar eru vatnsorka og jarðhiti. Það eru af þeim sökum lítil tengsl milli rannsókna á þeim og innflutnings, dreifingar og sölu á eldsneyti.

Sem fyrr segir er ekki líklegt að skipan mála er varða almenningshitaveitur breytist mikið frá

Því sem nú er þannig að rannsóknir ríkisins á nýtingu orkulindanna til hitaveitna munu af þeim sökum ekki tengjast skipulagi orkumála svo mjög. Jarðhitaiðnaðurinn á Íslandi hefur eflst mjög mikið á undanförunum áratugum og er nú orðin öflug atvinnugrein sem verður enn öflugri í framtíðinni, eftir að byrjunarörðugleikar margra hitaveitna eru að baki. Hann hefur því alla burði til að taka á sig þær rannsóknir á jarðhitanum sem ríkið hefur kostað að undanförunu og lúta að leit að jarðhita til að mæta vaxandi þörfum hitaveitna, gagnstætt því sem var meðan þessi iðnaður var á bernskuskeiði. Þá var þáttur ríkisins ómetanlegur. Það helsta sem ríkið mun áfram þurfa að hafa á sinni könnu í jarðhitarannsóknum vegna hitaveitna er þróun nýrra aðferða við að meta jarðhitasvæði sem orkugjafa og viðbrögð þeirra við langvarandi vinnslu.

Það eru fyrst og fremst í rannsóknum sem miða að því að nýta orkulindirnar umfram almennar þarfir, þ.e. til orkufreks iðnaðar, sem það ræðst að verulegu leyti af skipulagi orkumála að hve miklu leyti ríkið þarf að kosta þær. Einkum er þetta nátengt skipan raforkumála, vegna mikilvægis raforkufrekra iðngreina fyrir nýtingu orkulindanna, en einnig nátengt málum er varða nýtingu á jarðhita til varmafreaks iðnaðar.

Þekking á orkulindunum er forsenda fyrir nýtingu þeirra. Þekking fæst með rannsóknum. Rannsóknir á orkulindunum eru því alger forsenda fyrir nýtingu þeirra. Þessavegna eru þessar rannsóknir svo mikilvægar. Ríkið getur séð til þess að þær séu gerðar með því að

- Framkvæma þær á eigin kostnað, annaðhvort með eigin starfsliði eða með því að kaupa þær af öðrum, eða
- Semja um að aðrir framkvæmi þær og beri af þeim kostnaðinn

Það er ekki síst valið milli þessara möguleika sem getur verið mjög komið undir skipulagi orkumála og þá alveg sérstaklega raforkumála.

Ef einkasöluleiðin er valin í raforkumálum getur ríkið sett það sem skilyrði fyrir einkaleyfi að sá sem fær það skuldbindi sig til að annast á sinn kostnað undirbúningsrannsóknir undir nýtingu sína á þeim orkulindum sem það fær einkaleyfi til að nýta. Kostnaður við þær verður þá hluti af auðlindargjaldinu. Ríkið þarf í slíku tilviki ekki sjálft að kosta þessar rannsóknir, eða framkvæma þær, en hinsvegar að hafa eftirlit með því að einkaleyfishafinn standi við skuldbindingar sínar um þær, auk þess að hafa eftirlit með gjaldskrá þess. *Með einkasölu-skipan í raforkumálum getur ríkið þannig sparað sér bæði kostnað og eigin umsvif í orkurannsóknum.*

Annað er uppi á teningnum ef samkeppnisskipan er valin. Þá er hámarksarður af orkulindunum fyrst og fremst fenginn með samkeppninni. Í hvert skipti sem þörf er á nýju raforkuveri má hugsa sér að leyfi til virkjunar yrði boðið út, hvarvetna innan EES og jafnvel í öllum löndum Orkusáttmálans, og veitt hæstbjóðanda. Leyfisgjaldið er þá hluti af auðlindargjaldinu fyrir að nýta orkuna. Við útboðið fær bjóðandi í hendur þær upplýsingar um orkulindina sem nýta skal sem ríkið hefur aflað á sinn kostnað með rannsóknum. Slík upplýsingasöfnun tekur langan tíma og það þarf því að byrja á henni löngu áður en til útboðs kemur. Þannig er talið að vatnamælingar þurfi að standa áratugum saman fyrir virkjun til að traust vitneskja fái um rennslishætti fallvatns sem virkja á. Það er einnig tímafrekt að afla annarra upplýsinga, svo sem um jarðfræði virkjunarsvæðis, um háhitasvæði og líkleg umhverfisáhrif nýtingar. Þessar

upplýsingar eru lykilatriði fyrir þjóðanda til að meta hvað fært sé að bjóða fyrir virkjunarleyfið. Jafnframt eru þær afar mikils virði fyrir hann ef hann fær leyfið vegna þess hve langan tíma það tæki hann að afla þeirra. Þær hafa því úrslitaáhrif á tilboð hans. Virkjunarleyfi í á þar sem lítið er vitað um rennslið, eða á háhitasvæði sem er mikið til ókannað, er ekki líklegt til að fara fyrir hátt verð. *Við samkeppnisskipan í raforkumálum á því ríkið að stunda orkurannsóknir að því marki að jaðarkostnaðurinn við að auka þær verði jafn væntanlegum jaðarávinningi af því í formi hærra verðs fyrir virkjunarkeyfi.*

## 6. Lokaorð

Ég hef hér að framan reynt að draga upp í einföldum dráttum mynd af því hvernig orkurannsóknir á vegum ríkisins eru tengdar skipan orkumála; einkanlega raforkumála. Langsamlega líklegast er að hún muni í framtíðinni liggja einhversstaðar á milli einkasölu-skipanarinnar og samkeppnisskipanarinnar. Í samræmi við það er líklegt að orkurannsóknir á vegum ríkisins verði einhversstaðar á milli þess að vera sáralitlar vegna þess að einakleyfis-hafi annist þær og hins, að vera mjög umfangsmiklar til að tryggja þjóðinni arðinn af orkulindunum í allsráðandi samkeppnisumhverfi.

Við val á skipulagi orkumála milli þessara ytri marka hlýtur það að vera höfuðatriði að velja skipan sem sé líklegust til að tryggja þjóðinni hámarksarð af orkulindunum í framtíðinni. Umfangið á orkurannsóknum ríkisins í framtíðinni ræðst síðan af þeirri niðurstöðu sem komist verður að í því efni. *Aðalatriðið er að gera sér ljóst að þetta umfang er ekki eitthvað sem unnt er að ákveða fyrirfram, áður en skipulag orkumála er ráðið. Skipulagið þarf að ákveða fyrst. Umfangið á orkurannsóknum ríkisins ræðst svo af því.*

Góðir áheyrndur ! Ég hef lokið máli mínu og þakka áheyrnina.

**ÞJÓÐHAGSLEGUR ÁVINNINGUR  
AF NÝTINGU JARÐHITA Á ÍSLANDI**

**Guðmundur Pálmason**



# Ársfundur Orkustofnunar 1996

## **Þjóðhagslegur ávinningur af nýtingu jarðhita á Íslandi**

**Guðmundur Pálmason**

### **1. Inngangur**

Ég ætla í þessu erindi að gera tilraun til að fjalla nokkuð um gildi þess fyrir íslenskt þjóðfélag að eiga aðgang að þeirri ódýru og umhverfisvænu orkulind, sem jarðhitinn er. Flestir þekkja úr eigin heimilisbókhaldi að það er nokkurs virði að eiga aðgang að ódýrri orku til nauðsynlegrar upphitunar. Hitt er ef til vill ekki eins ljóst hvers virði það er á þjóðhagslegan mælikvarða.

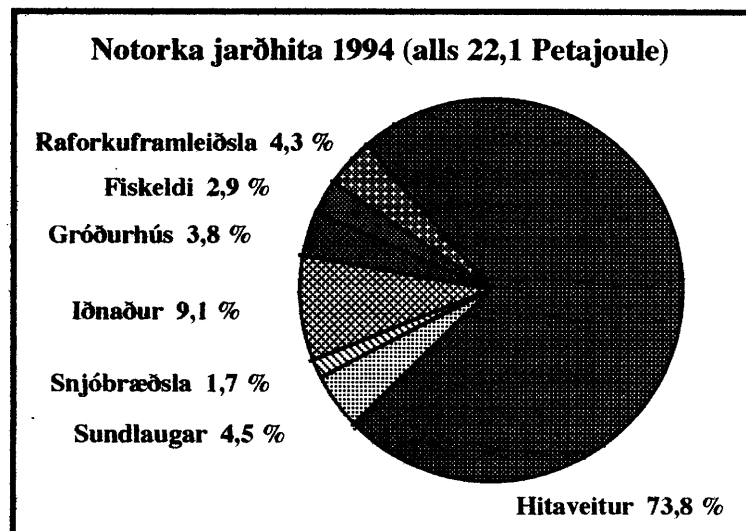
Allt frá því að fyrst var farið að nýta jarðhita í smáum stíl til upphitunar á fyrstu tugum aldarinnar hefur notkunin vaxið jafnt og þétt með aukinni reynslu og bættri tækni. Utanaðkomandi öfl hafa á köflum haft nokkur áhrif á gang mála. Heimsstyrjöldin síðari tafði framkvæmdir við Hitaveitu Reykjavíkur um fáein ár, en olúkreppurnar á áttunda og níunda áratugnum hertu aftur á móti á uppbyggingu nýrra hitaveitna.

Áhrif nýtingar jarðhitans hér á landi eru mjög margvísleg og engin leið að gera þeim að fullu skil hér, enda ekki ætlunin. Þessum áhrifum má e.t.v. skipta í eftirfarandi fjóra meginflokka:

- 1) Hreinan sparnað á útgjöldum til upphitunar húsa
- 2) Aukin atvinnutækifæri í iðnaði, gróðurhúsarækt, ferðamannaþjónustu og í orkuiðnaðinum sjálfum
- 3) Áhrif á byggðarþróun
- 4) Umhverfisverndun, m.a. með minni losun gróðurhúsalofttegunda og brennisteins-sambanda en verið hefði með notkun fasts eða fljótandi eldsneytis til hitunar

Ég ætla að fjalla hér aðallega um fyrsta liðinn og reyna að meta hver sé hinn peningalegi sparnaður þjóðarinnar af því að nýta jarðhitann til upphitunar. Í lokin mun ég svo aðeins víkja að síðasta liðnum, þ.e. hver ávinningurinn er fyrir umhverfið af því að nýta jarðhitann til upphitunar í stað eldsneytis. Ég læt öðrum, sem hafa betri yfirsýn yfir þjóðfélagið í heild, það eftir að meta hver áhrif liða 2) og 3) gætu verið.

Á 1. mynd er sýnt hvernig



1. mynd

jarðhitanotkunin skiptist á hina ýmsu notkunargeira. Þar sem um beina varmanotkun er að ræða er hún reiknuð sem notorka, en í tilviki raforkuframleiðslunnar er um að ræða framleidda raforku. Alls var notkunin á árinu 1994 um 22 Petajoule. Stærsti hlutinn, 73,8%, fór til húshitunar. Hér er ávinningurinn langmestur eins og ég mun víkja að hér á eftir. Næst koma iðnaðarnot, aðallega hjá Kísiliðjunni og Þörungaverksmiðjunni á Reykhólum. Án jarðhitans væri hvorugt þetta fyrirtæki til og því ekki um neinn beinan sparnað að ræða í sama skilningi og í húshituninni. Þetta eru hins vegar dæmi um hin óbeinu áhrif jarðhitans í formi atvinnusköpunar. Sundlaugar eru næstar í röðinni með um 4,5 % af heildarnotkuninni. Þar er trúlega hægt að tala um einhvern sparnað, því að sundlaugar væru hér vafalaust til að einhverju marki, þótt jarðhiti væri enginn. Þær vega hins vegar ekki þungt í heildardæminu. Raforkuvinnslan færi fram með öðrum hætti ef jarðhitinn væri ekki til staðar. Gróðurhúsaræktun og snjóbræðsla væri ekki til staðar ef jarðhitans nyti ekki við.

Niðurstaðan er því sú eins og vænta mátti, að húshitunin er yfirgnæfandi liður í þeim sparnaði sem af nýtingu jarðhitans leiðir. Önnur nýting hefur ekki í för með sér beinan peningalegan sparnað í umtalsverðum mæli, en hún hefur hins vegar ýmis önnur mjög jákvæð áhrif í þjóðhagslegu samhengi, t.d. til atvinnusköpunar og til verndunar umhverfisins.

## 2. Aðrir orkukostir ef jarðhitinn væri ekki til

Ýmsir orkugjafar hefðu komið til greina í stað jarðhitans, ef hans hefði ekki notið við. Fyrst má nefna olíu, sem var notuð áður en jarðhitinn útrýmdi henni því sem næst á níunda áratugnum. Kol koma einnig til greina, svo og raforka framleidd úr vatnsafli. Hér verða leidd að því nokkur rök, að samanburður við gasolíuhitun gefi raunhæfa mynd af þeim sparnaði sem næst með jarðhitunum.

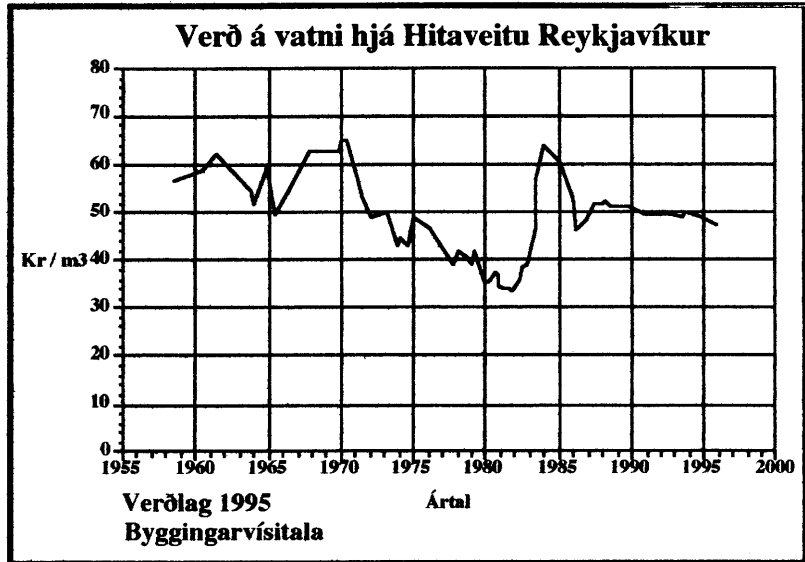
Á árinu 1995 voru sölutekjur hitaveitna um 5,5 miljarðar króna og seld notorka 4456 GWh (sjá töflu aftast). Þetta gefur meðalorkuverð jarðhita 1,23 kr/kWh. Á árinu 1995 var meðalverð á gasolíu til notenda 20,91 kr/kg án virðisaukaskatts. Þetta svarar til um 2,69 kr/kWh, sé reiknað með orkuinnihaldi 10.000 kcal/kg og orkunýtni 67%. Kol gætu orðið eitthvað ódýrari, en hér verður gert ráð fyrir að þau séu álíka dýr orkugjafi og olían, reiknað á hverja orkueiningu. Í tilviki kola eða olíu bættist við kostnaður við dreifikerfi, ef um kyndistöð væri að ræða, sem væri sennilega hagkvæmasti fyrirkomulag hitunar með þessum orkugjöfum. Raforka væri að öllum líkindum dýrasti kosturinn til upphitunar, en erfitt er að segja til um orkuverð hennar, því að gjaldskrár endurspeglar ekki raunkostnað við orkuframleiðsluna. Núverandi verð til hitunar hjá Rafmagnsveitu Reykjavíkur er 3-4 kr/kWh, sem er óniðurgreitt, en verð til almennrar notkunar er 7-8 kr/kWh. Telja má líklegt að verð til hitunar í stórum stíl væri á milli þessara marka, og þar með verulega hærra en með olíuhitun. Raforkunni til kosts má telja að hún er innlend orka og lítt háð verðsveiflum á erlendum mörkuðum eins og olían.

Umhverfismengun af völdum bruna kola og svartolíu er talsvert meiri en frá gasolíu. Brennisteinsinnihald kola og svartolíu er margfalt miðað við gasolíu og veldur hættu á súru regni. Losun koltvíldis við bruna kola eða koks er talsvert meiri en við bruna gasolíu, reiknað á hverja orkueiningu. Ekki er ljóst hver áhrif þetta hefði haft á val orkugjafa, en með vaxandi áhyggjum af mengun andrúmsloftsins gætu slík áhrif verið nokkur.

Að öllu samanlögðu verður í reikningum hér á eftir gert ráð fyrir að hitun með gasolíu sé sá kostur, sem hefði verið valinn án jarðhitans og því gefi samanburður við hana réttasta mynd af þeim sparnaði sem af notkun jarðhitans leiðir.

### 3. Aðferð til útreiknings á sparnaði við notkun jarðhita til húshitunar

Skóðað er tímabilið frá 1970 til 1995 ár fyrir ár (sjá töflu aftast). Jarðvarmi til notenda hitaveitna er umreiknaður í tilsvarendi olíumagn með því að gera ráð fyrir 62,5 % nýtni, sem tekur tillit til bæði ketiltapa og dreifitapa. Þannig fenginn olíukostnaður og sala hitaveitnanna á verðlagi hvers árs er síðan umreiknað til verðlags 1995 með byggingarvísitölu, en verð á heitu vatni frá Hitaveitu Reykjavíkur hefur í stórum dráttum fylgt þeirri vísitölu þann tíma sem hér um ræðir (sjá 2.mynd). Mismunur á þessu tvennu, olíu- og jarðhitareikningnum, er fyrsta nálgun á þeim sparnaði sem af nýtingu jarðhitans til húshitunar leiðir. Forsenda hér er að sömu kröfur væru gerðar til stærðar húsnæðis og innihita og eru gerðar í dag, m.ö.o. að sömu lífsgæðakröfur væru gerðar varðandi húsnæði. Síðan þarf að skoða ýmis frávik frá þessari fyrstu nálgun. Setja má upp eftirfarandi jöfnu:



2. mynd

**Sparnaður = olíureikningurinn – jarðhitareikningurinn + ýmis frávik**

þar sem “ýmis frávik” eru ýmsir liðir, sem ekki eru reiknaðir sérstaklega en er þó hægt að meta gróft hver áhrif hafa kostnaðarlega. Til frávikanna teljast m.a., þar sem (+) þýðir aukinn sparnað, en (-) minnkaðan:

- Fjármagnskostnaður og viðhald olíukyndingar (+)
- Kostnaður af dreifikerfi ef um kyndistöð(var) væri að ræða (+)
- Hugsanlegur sparnaður af notkun svartolíu (-)
- Rekstrarhagnaður hitaveitna (+)

Olíukynding gæti verið með tvennum hætti, annaðhvort með kynditækjum í heimahúsum eða með kyndistöðvum og dreifikerfum. Síðara fyrirkomulagið er væntanlega hagkvæmara enda þótt hið fyrrnefnda hafi verið ráðandi hér á landi fyrir hitaveituvæðinguna. Þá þarf að bæta kostnaði við katla og dreifikerfi við olíureikninginn. Hjá Hitaveitu Reykjavíkur er um það bil þriðjungur af kostnaði heita vatnsins til orðinn vegna dreifikerfisins, og ef svipað hlutfall gildir hjá öðrum hitaveitum einnig, er hér um kostnað upp á alls tæpa tvo miljarða á ári að ræða, sem bætist við olíureikninginn. Í reynd hefði þetta orðið nokkru meira því að dreifikerfið hefði þurft að vera tvöfalt, sem það er aðeins að hluta til hjá Hitaveitu Reykjavíkur í dag. Er þá ekki talinn með fjármagnskostnaður og viðhald vegna kyndistöðvanna.

Ekki er ólíklegt, að eitthvert millistig gasolíu og svartolíu hefði verið notað sem eldsneyti í stað gasolíu eins og hér er reiknað með. Þetta myndi á hinn bóginn lækka olíureikninginn nokkuð og þar með draga úr þeim sparnaði sem hér er reiknaður. Einnig myndi olían væntanlega

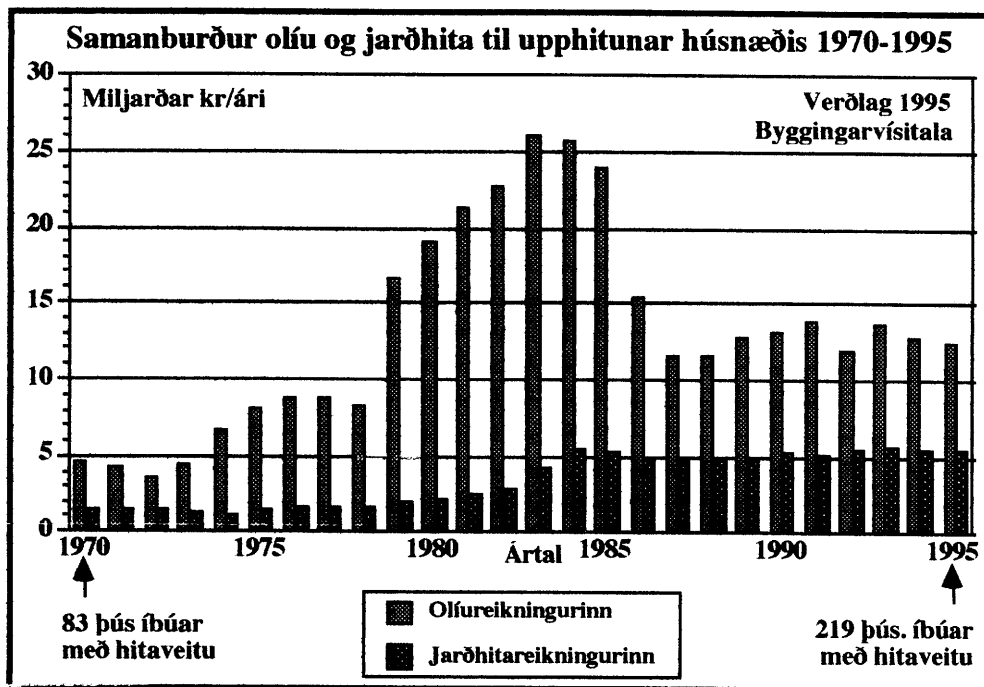
fást á lægra verði ef um sölu til kyndistöðva væri að ræða fremur en til heimahúsa. Orkusala hitaveitnanna inniheldur hagnaðartölu, sem ekki svarar til raunverulegs kostnaðar og leiðir með ofangreindri reikniðferð til minni sparnaðar en raunverulega er. Í Sögulegu yfirliti

hagtalna frá Þjóðhagsstofnun (1995) getur að líta yfirlit um hagnað af reglulegri starfsemi hitaveitna sem hlutfall af rekstrartekjum. Þar kemur m.a. fram að á árabílinu 1980-1992 er hagnaður á hverju ári, ef undan eru skilin árin 1981-1983, þegar stjórnvöld gripu inn

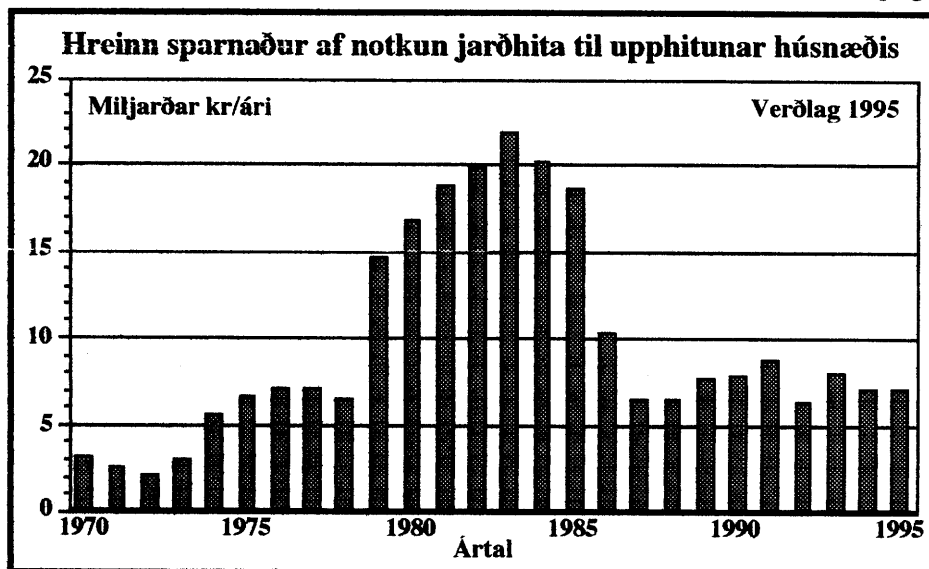
í til að halda verði hjá HR niðri. Að meðaltali yfir þessi 13 ár er hagnaður af rekstri hitaveitnanna 3,2 %. Verðlag í það heila sýnist því vera nálægt frá því að endurspegla raunkostnað við rekstur hitaveitnanna. Þetta er þó misjafnt hjá einstökum hitaveitum. Hjá Hitaveitu Reykjavíkur hefur þessi hagnaður verið á bilinu 10-15 % síðustu árin eða 3-400 miljónir króna á ári.

Þótt summ-an af liðunum "ýmis frávik" sé þannig ekki alveg

ljós, sýnist ekki fjarri lagi að ætla, að hún geti verið nálægt núlli eða rétt neðan við það. Betra mat á þessum liðum gæti þó breytt þessari niðurstöðu. Hér verður gert ráð fyrir sem líklegustu niðurstöðu að summa frávikanna sé neikvæð um 0,5-1 miljarð króna á ári.



3. mynd

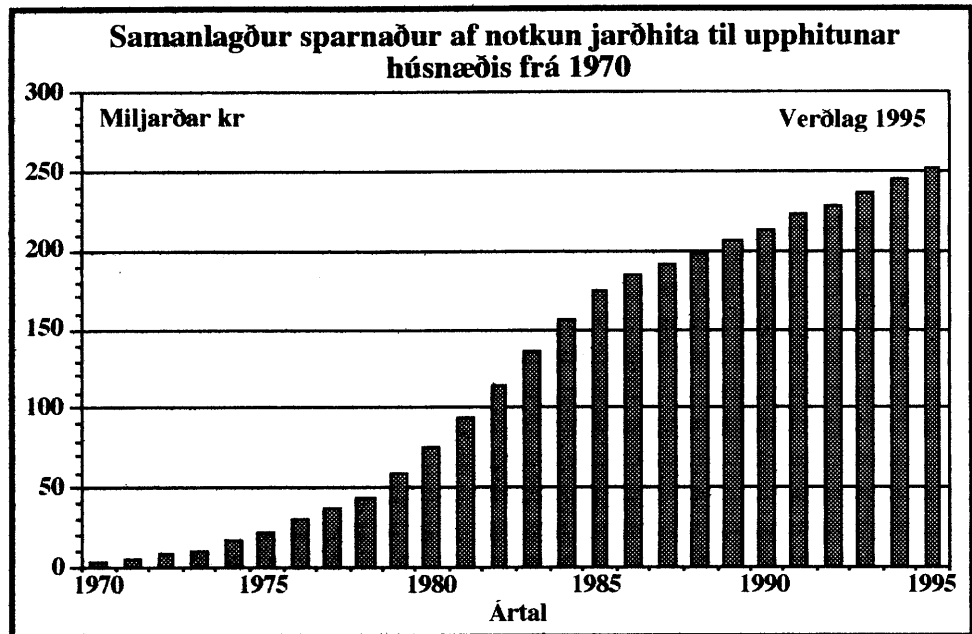


4. mynd

#### 4. Niðurstöður útreikninga

Niðurstöður reikninganna eru sýndar á línuritunum á 3. til 5. mynd. Á fyrsta línuritinu eru bornir saman olíu og hitaveitureikningarnir eins og þeir eru reiknaðir í töflunni hér aftan við. Áhrif hækkads olíuverðs á tímum olíukreppanna á áttunda og níunda tug aldarinnar eru mjög skýr enda margfaldaðist olíuverðið þá frá því sem áður var. Einnig má sjá greinilega aukninguna í umsvifum hitaveitnanna á þessu tímabili, en fjöldi landsmanna sem bjuggu við hitaveitu jókst úr 83 þúsund árið 1970 í 219 þúsund árið 1995. Mest varð aukningin á fyrri hluta níunda áratugarins.

Næsta línurit sýnir mismuninn eða hreinan reiknaðan sparnað. Hann nam mest nærri 22 miljörðum kr árið 1983 (á verðlagi 1995), en lækkaði síðan með lækkuðu olíuverði og er nú um 7,3 miljörðar króna á ári.



5. mynd

Á síðasta línuritinu er síðan sýndur samanlagður reiknaður sparnaður frá 1970 á hverju ári. Að meðaltali yfir þetta 26 ára tímabil er hann rétt um 10 miljörðar króna á ári á verðlagi 1995.

Álagðir skattar eru hvergi taldir með í ofangreindum reikningum, hvorki virðisaukaskattur né söluskattur á þeim tíma sem hann var við lýði.

Niðurstaðan af þessum vangaveltum er því sú, að hinn beini peningalegi sparnaður sem leiðir af nýtingu jarðhitans til húshitunar í landinu, borið saman við olíuhitun, sé nálægt **6,5 miljörðar króna á ári**, miðað við meðalolíuverð á árinu 1995. Að meðaltali s.l. 25 ár hefur þessi sparnaður verið talsvert meiri, eða hátt í 10 miljörða króna á ári. Ef skoðaðar eru einstakar hitaveitur er ljóst að sparnaðurinn er mjög mismunandi. Langmestur er hann hjá Hitaveitu Reykjavíkur vegna stærðar hennar og tiltölulega lágs orkuverðs.

Fyrir utan hinn hreina peningalega sparnað af nýtingu jarðhitans má nefna heilsufarslegan ávinning af sundlaugum og jákvæð umhverfisáhrif. Þetta er hvort tveggja erfitt að meta til peninga, en má örugglega telja sem viðbót við hinn peningalega sparnað.

#### 5. Nokkrar viðmiðunarstærðir

Fróðlegt er að skoða fáeinar stærðir úr þjóðarbúskapnum til að fá meiri tilfinningu fyrir

Því hver verðmæti hér eru á ferðinni. Þessar samanburðarstærðir eru valdar úr nýlegum skýrslum Þjóðhagsstofnunar:

<b>Sparnaður af nýtingu jarðhitans til húshitunar</b>	<b>6,5</b>	<b>miljarðar kr/ári</b>
Innflutt flutningatæki á landi, CIF (bílar o.fl.)	5,4	“
Innflutt eldsneyti, CIF	8,4	“
Heildarþorskaflí úr sjó	17,	“

Af þessum samanburðartölum sést ljóslega hvaða verðmæti hér er um að ræða. Auðvelt er að gera sér í hugarlund hvaða áhrif það hefði haft á þjóðfélagið, ef jarðhitans hefði ekki notið við. Fróðlegt væri að reyna að meta á sama hátt þýðingu vatnsaflsins, en það verður ekki gert hér.

## 6. Umhverfisverndun við nýtingu jarðhitans

Jarðhitinn telst til hinna umhverfisvænni orkulinda borið saman við jarðeldsneyti, sem víðast hvar í orkubúskap annarra þjóða er ráðandi, t.d. á meginlandi Evrópu. Meta má gróflega hver yrði losun koltvíldis frá þeirri olíu sem hér er gert ráð fyrir að væri brennt til hitunar, ef jarðhiti væri ekki til staðar. Jarðhiti til húshitunar er ígildi um 600 þús. tonna af olíu á ári. Fyrir liggja tölur um koltvíldislosun frá olíukyntum rafstöðvum, sem er um 850 g CO<sub>2</sub> á hverja kWh af raforku. Ef gert er ráð fyrir 37 % nýtingu á varmaorkunni til raforkuframleiðslu, svarar þetta til þess að losun koltvíldis frá olíubrennslu í stað hitaveitna væri um 1,9 milljón tonna á ári. Þar sem jarðhitinn losar sjálfur hverfandi lítið af koltvíldi miðað við þetta, er þetta nokkurn veginn sú lækkun í CO<sub>2</sub> losun sem af nýtingu jarðhitans leiðir. Samkvæmt skýrslu Umhverfissráðuneytisins, Útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi árið 1990, var heildarlosun CO<sub>2</sub> hér á landi um 2,9 milljón tonn á árinu 1990. Lækkun jarðhitans á CO<sub>2</sub> losun nemur því um 40 % frá því sem verið hefði með olíukyntri húshitun. Gróft mat bendir til þess að raforkuvinnslan úr vatnsaflinu til almennrar notkunar skili álíka lækkun á CO<sub>2</sub> losun og jarðhitinn, miðað við raforkuframleiðslu úr olíu.

Innlendar orkulindir eiga því mjög verulegan þátt í því að draga úr losun koltvíldis til andrúmsloftsins frá íslensku atvinnulífi. Án þeirra gæti slík losun verið tvöföld á við það sem nú er. Ekki má heldur gleyma því að minnkaður innflutningur eldsneytis dregur úr hættu af mengunarslysum af völdum olíu.

### Helstu heimildir:

- Gagnasafn Orkubúskapardeildar Orkustofnunar.
- Sögulegt yfirlit hagtalna 1945-1994. Þjóðhagsstofnun 1995.
- Atvinnuvegaskýrsla 1992. Þjóðhagsstofnun 1995.
- Árbók Reykjavíkurborgar 1994.
- Jarðvarmi og hitaveitur 1973-1981. Þjóðhagsstofnun 1984.
- Árni Ragnarsson. Iceland country update. Proc. World Geothermal Congress 1995, Flórens, Ítalíu.
- Útstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi árið 1990. Umhverfissráðuneytið 1992.
- Halldór Ármannsson og Hrefna Kristmannsdóttir. Geothermal environmental impact. Geothermics, 21, bls 869-880, 1992.

Útreikningur á sparnaði við notkun jarðhita til húshitunar borið saman við oluhitun

Ár	Nýttur jarðvarmi GWh	Tilsv. olía ktonn	Meðal CIF-verð kr/kg olíu	Meðaðverð til notenda kr/kg olíu	Í krónum hvers árs			Vísit. bygg- kostn. stig	Olíu- kostnaður milljarðar kr	Sala hitaveitna milljarðar kr	Sparnaður olía-jarðhiti milljarðar kr	Uppsafnaður sparnaður milljarðar kr
					Olíu kostnaður milljón kr.	Sala hitaveitna milljón kr	Sala hitaveitna milljarðar kr					
1970	1528	210	0,0219	0,059	12,39	3,75	26,4	4,55	1,38	3,17	3,17	3,17
1971	1620	222	0,0294	0,053	11,77	4,47	27,3	4,18	1,59	2,59	2,59	5,77
1972	1714	235	0,0276	0,053	12,46	5,27	34,7	3,48	1,47	2,01	2,01	7,77
1973	1943	266	0,0359	0,077	20,48	6,12	46,0	4,32	1,29	3,03	3,03	10,80
1974	2015	276	0,0988	0,183	50,51	8,47	73,3	6,68	1,12	5,56	5,56	16,36
1975	2248	308	0,162	0,27	83,16	14,45	100	8,06	1,40	6,66	6,66	23,02
1976	2263	310	0,202	0,35	108,50	20,28	119	8,84	1,65	7,19	7,19	30,21
1977	2529	347	0,236	0,41	142,27	26,43	159	8,68	1,61	7,06	7,06	37,28
1978	2621	359	0,341	0,57	204,63	42,02	240	8,27	1,70	6,57	6,57	43,85
1979	3143	431	0,946	1,41	607,71	73,17	355	16,60	2,00	14,60	14,60	58,45
1980	3216	441	1,492	2,40	1058,40	122,85	539	19,04	2,21	16,83	16,83	75,28
1981	3660	502	2,19	3,55	1782,10	208,60	811	21,31	2,49	18,81	18,81	94,09
1982	3865	530	3,38	5,88	3116,40	386,85	1331	22,70	2,82	19,89	19,89	113,98
1983	4073	559	6,55	10,64	5947,76	967,32	2213	26,06	4,24	21,82	21,82	135,80
1984	4054	556	7,60	11,87	6599,72	1418,22	2490	25,70	5,52	20,18	20,18	155,98
1985	4077	559	10,06	14,93	8345,87	1819,50	3392	23,86	5,20	18,66	18,66	174,64
1986	4120	565	6,82	11,68	6599,20	2112,50	4159	15,39	4,93	10,46	10,46	185,10
1987	4053	556	6,34	10,35	5754,60	2452,78	4853	11,50	4,90	6,60	6,60	191,70
1988	4375	600	6,43	11,76	7056,00	3056,65	5901	11,59	5,02	6,57	6,57	198,27
1989	4465	612	8,91	15,79	9663,48	3793,29	7285	12,86	5,05	7,81	7,81	206,09
1990	4206	577	12,93	19,20	11078,40	4416,84	8176	13,14	5,24	7,90	7,90	213,99
1991	4103	563	13,69	22,53	12684,39	4735,96	8863	13,88	5,18	8,70	8,70	222,68
1992	4293	589	10,69	18,73	11031,97	5131,90	8952	11,95	5,56	6,39	6,39	229,07
1993	4446	610	11,48	21,40	13054,00	5367,40	9232	13,71	5,64	8,07	8,07	237,15
1994	4326	593	11,04	20,80	12334,40	5339,40	9398	12,73	5,51	7,22	7,22	244,36
1995	4456	611	10,27	20,91	12776,01	5499,60	9697	12,78	5,50	7,28	7,28	251,64

Byggt á heimildum frá Orkubúskapardeild

Að hluta áætlun fyrir 1995

# **RANNSÓKNIR Á FRAMBURÐI VATNSFALLA**

**Haukur Tómasson og Svanur Pálsson**



## RANNSÓKNIR Á FRAMBURÐI VATNSFALLA

Haukur Tómasson og Svanur Pálsson

### 1. Tilgangur rannsókna

Orkustofnun stundar rannsóknir á framburði vatnsfalla af tveimur meginástæðum.

1. Af tæknilegum ástæðum til þess að geta t. d. svarað spurningum um það hversu lengi inntaks- og miðlunarlón komi til með að endast og hvort opnir vatnsvegir muni lokast af aur.
2. Vegna umhverfismála til þess að svara t. d. spurningum um það hvernig sandströndin og aurafarvegir ána breytast vegna virkjana.

Með þessum rannsóknum er leitast við að skilja ákveðið kerfi. Meginþættir þessa kerfis eru:

1. Jökullinn með jökulruðningi og farvegakerfi í botni. Aurinn skolast út úr ruðningnum, en það grófa situr eftir. Hér er aðaluppspretta aurburðarins.
2. Sandar inni í landi. Þeir eru viðkomustaður sandsins í aurburðinum. Þeir verka ýmist sem gildirur eða námur fyrir aurinn.
3. Farvegir á klöpp eða grjótmottur. Þar berst aurinn fram á sama hraða og vatnið.
4. Sandar við sjó. Þeir eru yfirleitt aurgildirur.
5. Sandströndin. Til hennar berst aurinn frá landi. Hann berst með henni til beggja hliða og út á djúpið.

Þetta kerfi er í einhvers konar jafnvægi, sé litið til stutts tíma. En í raun er það ólíkleg niðurstaða, að mismunur tveggja stórra talna sé núll. Inngrip í náttúruna með stíflum breytir þessu jafnvægi. Stíflurnar eða lónin stöðva eða hægja á framburðinum til sjávar. Það hefur áhrif á sandana neðan við stíflurnar og á ströndina. Aurburð til strandar þarf að þekkja í heild til þess að meta áhrif breytinga á aurburði á ströndina.

### 2. Mælingar og gagnaúrvinnsla

Aurburður er tvenns konar, svifaur og botnskrið. Botnskrið er mjög erfitt að mæla. Þó er það hægt í tiltölulega lygnu vatni. Botnskriðið, sem aðallega er sandur, vex með vaxandi straumhraða upp að vissum mörkum, en þá virðist það hverfa. Skýringin er sú, að sandurinn hrærist upp við þessi mörk, verður að svifaur. Þessi breyting verður á straumhraðabilinu 0,5-1 m/s. Möl og steinar halda aftur á móti áfram að berast sem botnskrið og nást í botnskriðssýnataka. Niðurstöður mælinga á botnskriði benda til þess, að botnskriðið sé fáeinir hundraðshlutar af heildaraurburði, ef straumhraði er nægilega mikill til þess, að allur sandur sé upphærður. Þá þarf straumhraði að vera um og yfir 1 m/s, sem er venjulegast hjá okkur.

Þar sem svifaurinn virðist vera meginhluti aurburðarins, hafa mælingarnar að langmestu leyti beinst að honum. Mælingar á svifaur hafa farið fram nokkuð reglulega í meira en þrjá áratugi og mæld hafa verið hátt í 9000 sýni. Sýnunum er skipt í eftirtaldar tegundir:

S sýni eru tekin í flöskur, sem settar eru í sýnataka. Þessum sýnum er skipt í þrjá undirflokka.

S1 eru tekin á nokkrum, venjulega 3 - 6 stöðum, á þversniði árinna.

S2 eru langoftast tekin á einum stað í þversniðinu. Þau eru sambærileg við S1, nema þau eru tekin á færri stöðum.

S3 eru tekin við bakka.

F sýni eru tekin í flöskur án þess að sýnataki sé notaður, venjulega nærri öðrum árbakk-anum. F-sýni eru helst ekki tekin nú orðið.

Svifaurinn er misdreifður í þversniði árinna. Hann eykst með dýpi og einnig er hann breytilegur þvert yfir ána. Þess vegna þarf sýnið að vera blanda af árvatni frá yfirborði og niður undir botn. Sýnið þarf að taka á nokkrum stöðum þvert yfir ána, en misjafnt er eftir aðstæðum, hve víða á þversniðinu þau eru tekin, venjulegast á 3 - 6 stöðum. Á örfáum stöðum, þar sem ár renna þröngt, er aðeins hægt að taka sýni á einum stað, af því að sýnatakin leitar alltaf út í mesta strauminn. Meðal þessara staða eru báðir sýnatökustaðirnir í Jökulsá á Dal. Rennslið í ánni, þegar sýnið er tekið, þarf að vera þekkt, svo að mæligögnin séu nothæfur efniviður í svifaurslykil.

Þegar sýnið er mælt, er innihaldi allra flasknanna frá öllum stöðum í þversniðinu blandað saman. Mælt er aurmagn í lítra, þ. e. aurstyrkur, svo og kornastærðardreifingin og heildarmagn uppleystra efna, efnastyrkurinn. Kornastærð aurs grófari en 0,062 mm er mæld með sigtun, en kornastærð fínni hluta aursins er fundin með því að mæla sethraða aursins í setvog og setflösku, en kornastærðin er síðan reiknuð út frá sethraðanum.

Í gagnaúrvinnslu er svifaurnum skipt í fjóra kornastærðarflokka, sjá töflu 1, samkvæmt kornastærðarkvarða Atterbergs, sand, mó, mélu og leir. Sandur og mór er talinn grófur aur, en méla og leir fínn.

*TAFLA 1. Kornastærðarflokkar svifaurs*

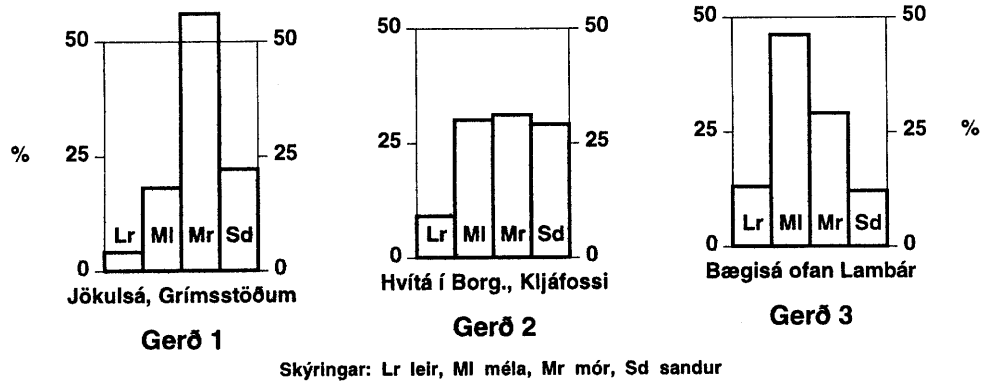
Grófur aur	Sandur	>0,2	mm
	Mór	0,02-0,2	"
Fínn aur	Méla	0,002-0,02	"
	Leir	<0,002	"

Tíðnigreining, þ. e. greining á því hvernig svifaurinn skiptist í þessa fjóra kornastærðarflokka, gefur verulegar upplýsingar um eðli aurburðar á mismunandi stöðum og jarðfræði undir jökli. Á grundvelli þessarar greiningar má skipta svifaur í einstökum ám í þrjár gerðir.

1. Mó/mélu hlutfallið er um 1,5 eða hærra. Þessi gerð einkennir eldvirku svæðin og móbergssvæðin og þykka og stóra jökla, þar sem aurburður er mikill.
2. Mó/mélu hlutfall um 1. Þessi gerð einkennir minni og þynnri jökla en gerð 1.

3. Mó/mélu hlutfall vel undir 1. Sú gerð einkennir jökla á blágrýtissvæðum og ár sem renna í gegnum lón eða vötn.

Mynd 1 sýnir dæmi um þrjár gerðir.



MYND 1. Dæmi um þrjár gerðir kornastærðardreifingar.

Úrvinnsla gagnanna felst í að reikna aurburðarlykil, sem er jafna yfir sambandið milli rennslis og framburðar á eftirfarandi formi:

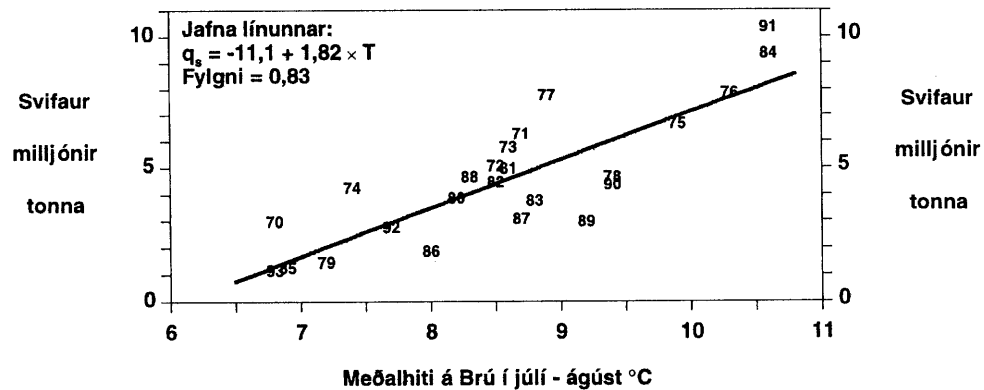
$$q_s = k \times Q^n$$

$q_s$  er svifaur í kg/s, k er fasti, Q er rennsli í m<sup>3</sup>/s

Veldisvísirinn n er venjulega af stærðargráðunni 2. Lyklarnir eru gerðir fyrir mismunandi kornastærðir, árstíðir og tímabil. Þeir eru bestir fyrir hreinar jökulár.

### 3. Breytileiki framburðar

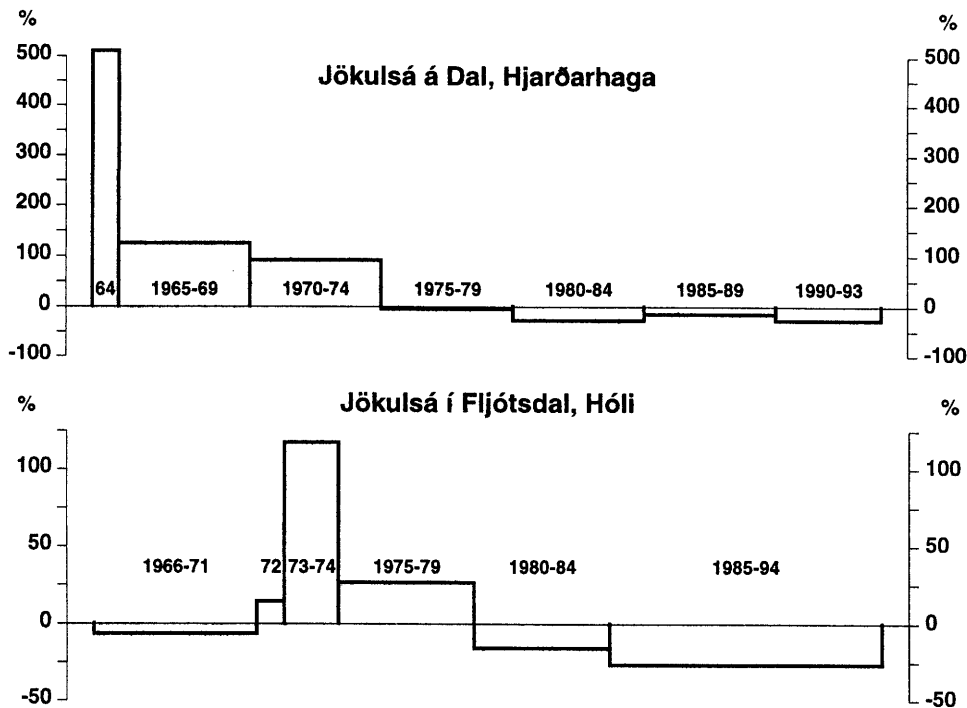
Framburður er mjög breytilegur frá ári til árs. Aðalástæður breytileikans eru breytilegur sumarhiti og framhlaup í jöklum. Greinilegt samband er á milli lofthita að sumrinu og rennslis og enn greinilegra á milli lofthita og aurburðar. Heitum sumrum fylgir mikill aurburður, sjá mynd 2.



MYND 2. Samband meðalhita í júlí-ágúst og framburðar svifaura í júlí-september í Jökulsá á Dal við Hjarðarhaga.

Framhlaup í jökli hafa mikil áhrif á aurburð. Þau eyðileggja allt farvegakerfið í botni jökulsins, svo að nýtt farvegakerfi þarf að myndast, þar sem ósorteraður ruðningur leggur til gnægð aurburðar. Mörg ár eða jafnvel áratugi tekur að ná nýju jafnvægi.

Sem dæmi um áhrif framhlaupa í jökli má nefna framhlaupið í Brúarjökli 1963-64, sem hafði mikil áhrif á framburð Jökulsár á Dal og framhlaupið í Eyjabakkajökli, sem hafði mikil en heldur skammvinnari áhrif á framburð Jökulsár í Fljótsdal, sjá mynd 3.



MYND 3. Meðalfrávik framburðar samkvæmt lykllum einstakra tímabila frá framburði samkvæmt lykli 1970-94 reiknað sem hundraðshlutar.

Jökulhlaup af þeirri stærðargráðu, að hámarksrennsli þeirra er margfalt venjulegt hámarksrennsli árinna, verður að líta á sem sjálfstæðan atburð, oft í ólínulegu sambandi við hið venjulega ástand árinna. Þá myndast nýir farvegir undir jökli og aðrir stækka, sem veldur miklum aurburði. Einnig er rennslið (Q) í öðru veldi í aurburðarlyklunum. Rannsóknir á Skeiðarárhlaupum eru bestu dæmi okkar um þetta. Svifaurinn í Skeiðará flokkast þannig í kornastærðarflokka, að á milli hlaupa er hann af gerð 2, en verður í hlaupum að gerð 1. Hálfsmánaðar framburður í hlaupunum er eins mikill og 5 ára framburður á milli hlaupa. Annars staðar höfum við ekki dæmi um stór hlaup í gagnasafni okkar, en hlaupin í Skaftá eru þó verulegir atburðir.

Hamfarahlauð eru upp á hundruð þúsunda rúmmetra á sekúndu. Þau eru sjaldgæf, en þó greinilegur þáttur í mótun landsins. Flest eru þau sennilega komin til vegna gosa undir jökli. Það, sem mest einkennir farvegi þeirra inni í landi, eru gríðarstór gljúfur, sem þau hafa grafið á örstuttum tíma. Hið stærsta þeirra varð í Jökulsá á Fjöllum fyrir um 2000 árum með rennsli um 500 000 m<sup>3</sup>/s. Það er talið hafa komið frá Bárðarbungu. Hlaupin í Hvítá urðu í lok ísaldar og komu úr jökulstífluðum lónum á Kili. Markarfljótsgljúfur er myndað við gos í Mýrdalsjökli. Á sögulegum tíma eru hlaupin frá Kötlu niður á Mýrdalssand dæmi um hamfarahlauð. Engar mælingar hafa verið gerðar á þeim, en ummerkin um hlaupið 1918 eru mjög greinileg. Þau gefa til kynna, að hlaupið hafi komist

upp í 300 000 m<sup>3</sup>/s með aurburð, að mestu gosefni, upp á 2500 milljónir tonna, sem er jafn mikið og árnar á milli Mýrdalsjökuls og Örafajökuls bera fram á einni öld.

Aurburður frá landinu til strandar er að mestu leyti frá jöklum kominn, en þó ekki allur. Nokkuð kemur frá jarðvegseyðingu, en heildarjarðvegseyðingin er talin um 30 tonn á ári á km<sup>2</sup>. Borið saman við meginlöndin er þetta ekki há tala, sjá töflu 2. Ef jökulrofi er bætt við á Íslandi, förum við í efstu sætin. Þar er rofið frá 800 tonnum á km<sup>2</sup> upp í 20 000 tonn á km<sup>2</sup>. Þetta hæsta gildi er að mestu vegna ösku frá síðasta gosi í Kötlu. Annars er algengt, að frá stóru jöklunum berist 5000-10 000 tonn á km<sup>2</sup>.

#### TAFLA 2. Aurframburður til úthafanna

Asía	540	tonn/km <sup>2</sup> /á ári
Norður-Ameríka	86	"
Suður-Ameríka	54	"
Evrópa	32	"
Afríka	24	"
Ísland utan jökla	30	"
" með jöklum	515	"

Allar stóru jökulárnar mynda sandströnd. Mest berst til strandar á milli Mýrdalsjökuls og Örafajökuls. Einnig berst mikið til strandar við Héraðsflóa og Öxarfjörð og á vestanverðri Suðurströndinni. En af mannavöldum hefur orðið breyting á framburði til síðasttalda strandsvæðisins.

#### 4. Framburður svifaurs í Jökulsánum norðan Vatnajökuls

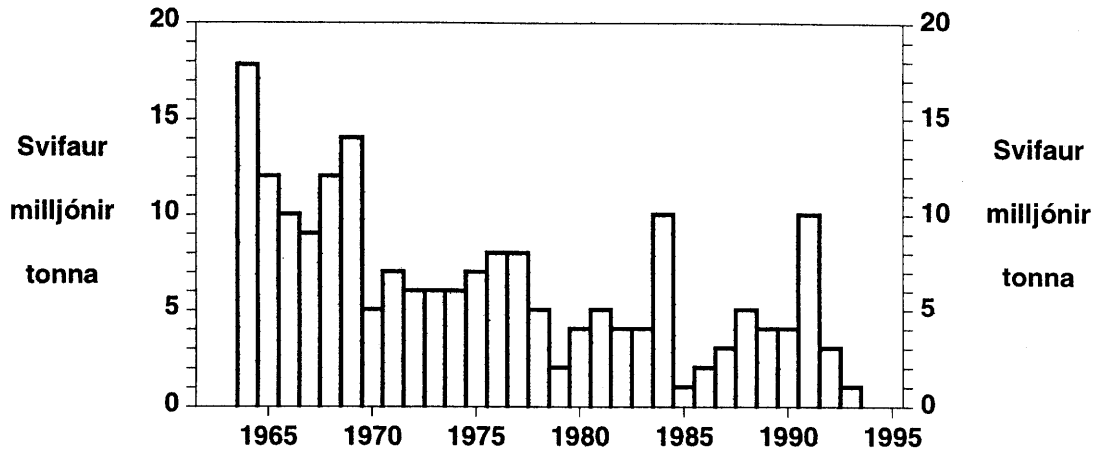
Hér er byggt á vinnu við skýrslu, sem kemur út fljótlega, en auk höfunda þessa fyrirlesturs hefur Guðmundur H. Vigfússon unnið að henni, einkum við forritun og útreikninga.

Úr Jökulsá á Fjöllum hafa svifaurssýni verið tekin við brýrnar hjá Ferjubakka í Öxarfirði og Grímsstaði á Fjöllum, ennfremur úr Jökulsá nærri Upptyppingum og úr Kreppu við brúna.

Aðalsýnatökustaðurinn í Jökulsá á Fjöllum er við Grímsstaði. Framburðurinn er mjög mismikill frá ári til árs, en hann hefur verið reiknaður fyrir árabilið 1971-91. Hann reiknast minnstur tæpar 3 milljónir tonna 1985, en hátt í 17 milljónir tonna 1991. Þessar sveiflur tengjast sveiflum í rennsli, en þær eru stærri en rennslissveiflurnar, af því að framburðurinn er fall af rennsli í veldi, sem er yfirleitt á milli 2 og 3. Eins og áður hefur komið fram, eykst framburður jökuláa með auknum sumarhita. Árin 1984 og 1991 eru hér dæmi um hlý sumur og 1985 um köld.

Við útreikninga á framburði er mæligögnum aursýnanna skipt á tvær árstíðir. Í ánum, sem hér er fjallað um, var valin sú skipting, að mánuðirnir júlí - september væru sumar, en hinir mánuðirnir vetur. Þegar talað er um sumar og vetur hér á eftir, er átt við þessa skiptingu. Jökulleysingin er mestöll í júlí og ágúst og í septemberlok virðast bein áhrif leysingarinnar á framburðinn oftast vera orðin lítil. Svifaurslyklar voru gerðir úr gögnum frá hvorri árstíð um sig. Bæði voru gerðir lyklar byggðir á gögnum frá öllum tímum og lyklar, sem giltu fyrir styttri tímabil, en litlu munaði á niðurstöðum þeirra hér.

Um 70% svifaursins við Grímsstaði berst fram í júlí til september, þ. e. á sumrin. Á sumrin berst fram um helmingur sandsins og um 80% aursins af hinum stærðarflokkunum þremur.



MYND 4. Jökulsá á Dal, Hjarðarhaga, framburður svifaurs á ári.

Í Jökulsá á Dal eru tveir sýnatökustaðir, við Hjarðarhaga og Brú. Gott samræmi er á milli gagna frá báðum stöðunum, en sýnataka hófst nokkrum árum fyrr við Hjarðarhaga og verður hér eingöngu fjallað um gögn þaðan.

Hér er breytileikinn frá ári til árs enn meiri en í Jökulsá á Fjöllum. Það stafar bæði af því, að mikið lindavatsrennsli í Jökulsá á Fjöllum veldur útjöfnun, og framburðurinn í Jökulsá Dal er reiknaður yfir lengri tíma, 1964-93, og þar með árin um og eftir framhlaup Brúarjökuls, sem varð 1963-64. Hafa verður í huga, að framburðurinn, sem reiknaður var fyrir árið 1964, byggist á lélegum sýnum, F-sýnum, en trúlega er hér frekar vanreiknað en hitt. Áhrif framhlaupsins sjást vel, en þeirra virðist hafa gætt í um einn og hálfan áratug, sjá mynd 4.

Á síðasta hluta tímans, sem mælingarnar ná yfir, þegar áhrif framhlaupa voru orðin lítil eða engin, stóðst breytileiki á heildarframburði milli ára við Grímsstaði og Hjarðarhaga mjög vel á. Fylgnin milli framburðar á þessum stöðum á tímabilinu 1980-91 var mjög góð, 0,95.

Langmestur hluti svifaursins í Jökulsá á Dal berst fram að sumrinu. Það á líka við um sandinn, ólíkt því sem er í Jökulsá á Fjöllum. Það er vegna þess, að hér minnkar rennslið miklu meira að vetrinum.

Í Jökulsá í Fljótsdal er svifaursframburður miklu minni en í hinum ánum tveimur. Sveiflur á milli ára eru minni. Þegar litið er á einstök ár, sem skáru sig úr á hinum stöðunum, sést, að 1985 er enn lágt og 1984 hátt, en 1991 sker sig lítið úr. Það, sem mest ber á hér, er mikil aukning í framburði eftir 1972, sem er afleiðing framhlaups Eyjabakkajökuls 1972. Áhrifa þess á aurburð hefur gætt í nokkur ár.

Í Jökulsá í Fljótsdal berst meira en 80% leirsins fram að sumrinu, en tæplega helmingur sandsins og hinir stærðarflokkarnir eru þar á milli. Hér kemur óvenjulega skýrt fram, að hlutur sumarmánaðanna í svifaurnum eykst reglulega með minnkandi kornastærð.

Kornastærðardreifingin í Jökulsá á Fjöllum og Jökulsá á Dal er af gerð 1, en í Jökulsá í Fljótsdal af gerð 3 miðað við þá flokkun, sem áður hefur verið gerð grein fyrir.

Áður hefur verið talað um áhrif framhlaups Brúarjökuls 1963-64 á framburð Jökulsár á Dal og áhrif framhlaups Eyjabakkajökuls 1972 á framburð Jökulsár í Fljótsdal.

Sumarið 1977 var framhlaup í Dyngjujökli. Sýnataka í Jökulsá á Fjöllum á árunum eftir framhlaupið var of strjál til þess, að hægt væri að búa til svifaurslykla, sem næðu yfir nægilega stutt tímabil, svo að hægt væri að sýna fram á áhrif framhlaupsins á framburðinn á sama hátt og í fyrirtöldu jökulánum, en áhrifin er hægt að sjá með annarri aðferð.

Þegar skoðað er samband lofthita á Grímsstöðum í júlí-ágúst og framburðar að sumrinu í Jökulsá við Upptyppinga, koma áhrif framhlaupsins greinilega fram. Gildi frá næstu fjórum sumrum fyrir framhlaupið sýna tiltölulega reglulegt samband hita og framburðar, eins og búast má við. Sumrin þar á eftir var framburðurinn miklu meiri miðað við lofthita, nema 1979, en þá hefur jökulleysing verið afbrigðilega lítil vegna kulda.

Niðurstaðan af útreikningum á meðalframburði svifaurs á ári í þessum þremur ám er þessi:

Jökulsá á Fjöllum við Grímsstaði 1971-91, 7 - 8 milljónir tonna.

Jökulsá á Dal 1965-93, 6 - 7 milljónir tonna. Hér vitum við, að reikningarnir gefa of lág gildi, því að sýnatakinn kemst oft ekki í botn vegna mikils straumhraða, svo að eitthvað af sandi vantar í sýnin.

Jökulsá í Fljótsdal 1966-94, 0,3 - 0,4 milljónir tonna.

## **5. Áhrif virkjunarframkvæmda á aurburð í Þjórsá og Tungná**

Samkvæmt mælingum á svifaur í Þjórsá við Urriðafoss á tímabilinu 1963-70 reiknast framburðurinn á þessum tíma rúmar 3 milljónir tonna á ári. Með leiðréttingu til meðalrennslis hækkar þetta gildi upp í allt að 4 milljónum tonna í meðalári. Þessi gögn eru bakgrunnur fyrir áhrif stíflugerðar á framburð árinna. Fyrsta framkvæmdin var bygging stíflunnar við Búrfell, sem lauk 1969, og sú síðasta var Sultartangastíflan, sem lauk 1983.

Við Búrfell var nokkrum hluta rennslis Þjórsár veitt til virkunar í gegnum Bjarnalón. Á 4 fyrstu árunum bárust inn í það um 2 GJ af aur. Hann var þá orðin svo mikill, að rennslí í gegn truflaðist með samverkan íss og aurs. Var þá keyptur dæluprammi, sem hélt lóninu í horfinu og vel það með því að dæla árlega á aðra milljón rúmmetra. Þegar virkjanir voru byggðar ofar minnkaði aurburðurinn í Bjarnalón og dælupramminn Tröllí hefur nú fengið að hvílast í nokkur ár.

Með Þórisvatnsmiðlun var Köldukvísl veitt inn í Þórisvatn. Það er svo stórt, að nálega allur aur, sem inn í það kemur, sest til. Eini aurinn frá Köldukvísl, sem heldur áfram, fer stundum með vatni á yfirfalli. Önnur lón hafa verið rannsökuð með samanburðarmælingum ofan og neðan stíflna og breytingum á aurburði við Sandafell.

Fyrir virkjunarframkvæmdir var kornastærðardreifing svifaursins í þessum þremur ám af gerð 1, nema í Þjórsá ofan Tungnár (Efri Þjórsá) var aurinn af gerð 2. Við stíflun breyttist aurinn í Tungná neðan stíflna úr gerð 1 í gerð 3. Það sama gerðist í Þjórsá sjálfri.

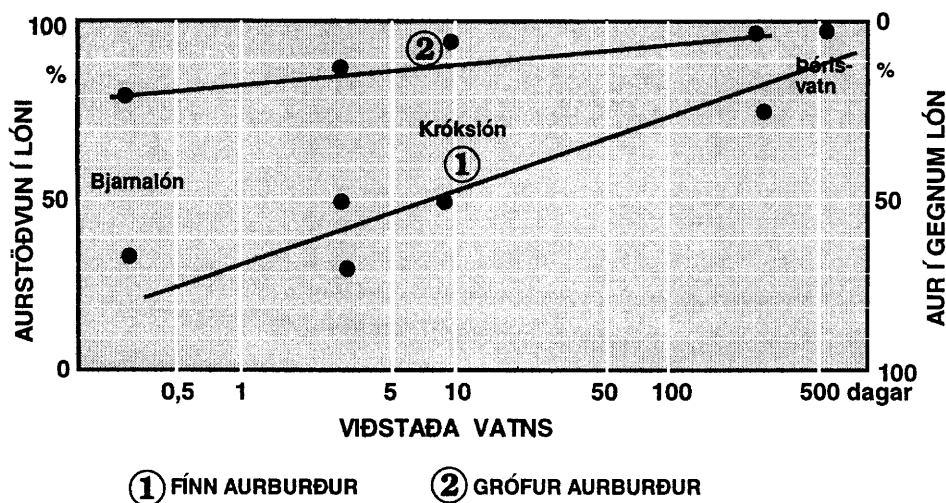
Fyrir virkjun var ársframburður um 1 milljón tonna í hvorri, Köldukvísl og Tungná ofan Köldukvíslar (Efri Tungná), 2 milljónir í Neðri Tungná og 1,3 milljónir í Efri Þjórsá. Í heild var hann rúmlega 3 milljónir tonna. Við stíflun breyttist þetta mjög.

Við það, að Þjórsá var stífluð við Sultartanga, minnkaði framburður hennar neðan Tungnár niður í 0,6 milljónir tonna á ári. Við það breyttist áin mjög á auraköflum sínum niðri á láglandi. Við Gaukshöfða flæmdist hún áður um stórt svæði, en nú er þar ákveðinn djúpur farvegur með botninn 1-2 m neðar en fyrir virkjanir. Út frá þessu er metið, að aurburður vegna dýpkunar farvega sé um 0,5 milljónir tonna á ári. Er þá framburður Þjórsár til strandar um 1 milljón tonn á ári og fer minnkandi eftir því sem farvegurinn verður grófkornóttari. Aurburður til vestanverðrar Suðurstrandarinnar hefur minnkað um tæpan helming. Ekki hefur orðið vart við verulegt landbrot af völdum þess ennþá. Ströndin er á mikilli hreyfingu og var ef til vill ekki í jafnvægi árin áður en virkjað var. Hugsanlega gekk hún fram, en um það eru engar heimildir.

TAFLA 3. Rúmmál miðlunarlóna og viðstaða vatns í þeim

Miðlunarlón	Tekið í notkun	Rúmmál GI	Viðstaða dagar
Bjarnalón	1969	5	0,3
Þórisvatn	1972	3000	600
Krókslón	1976	150	9
Hrauneyjalón	1981	50	3
Sultartangalón	1983	100	3
Lagarfljót		2700	300

Tafla 3 sýnir rúmmál miðlunarlóna á vatnasviði Þjórsár og viðstöðu vatns í þeim. Lagarflót er tekið með, vegna þess að aurstöðvun í því hefur verið rannsökuð. Tölurnar eru mjög afrúnnaðar.



① FÍNN AURBURÐUR      ② GRÓFUR AURBURÐUR

MYND 5. Samband aurstöðvunar og viðstöðu vatns í lónum.



Mynd 5 sýnir samband aurstöðvunar og viðstöðu vatns í lónum. Þar má sjá, að jafnvel í litlum lónum stöðvast næstum allur grófi aurinn og nokkuð af fína aurnum. En í stóru lónunum stöðvast allur grófi aurinn og megnið af þeim fína. Á alþjóðlegum mælikvarða er fylling lóna af seti mikið vandamál, og flestar aldagamlar stíflur eru nú ónothæðar vegna aurfyllingar. Sömu örlög bíða okkar uppistöðulóna, eftir áratugi við inntakslón og aldir við miðlunarlón. Þegar að því kemur, verða virkjanirnar löngu afskrifaðar. Aurinn má sjálfsagt fjarlægja, en það er langt þangað til og bíður síns tíma.