

# Orkustofnun





**ORKUSTOFNUN**

*- þekkingarbrunnur um orkumál*



---

# Inngangur

Orkustofnun var sett á laggirnar árið 1967 og tók þá að nokkru við hlutverki Raforkumála-skrifstofu sem starfað hafði frá árinu 1946.

Lengi framan af stóð Orkustofnun fyrir rannsóknum á náttúrufari landsins sem tengdist virkjanaframkvæmdum. Bæði er þar um að ræða vatnafarsrannsóknir, mælingar á vatnsföllum og vatnasviðum, svo og á grunnvatni. Einnig fóru fram umfangsmiklar jarðfræðirannsóknir, bæði á jarðlögum og jarðmyndunum og einnig á jarðhitasvæðum. Þessar rannsóknir hafa einnig í flestum tilfellum tengst orkunýtingu á einn eða annan hátt.

Talsverðar breytingar hafa verið gerðar á Orkustofnun undanfarin ár, bæði hvað varðar skipulag og einnig verkefni sem stofnunin sinnir. Árið 1997 voru rannsóknareiningar stofnunarinnar, Vatnamælingar og rannsóknasvið, sem sá um jarðfræðirannsóknir, gerðar að fjárhagslega sjálfstæðum einingum og í kjölfarið var rannsóknarsviðið klofið frá stofnuninni og starfar nú sem sjálfstæð stofnun, Íslenskar orkurannsóknir (ÍSOR). Stjórnslueining Orkustofnunar fer með það

fé sem veitt er til orkurannsókna og semur um rannsóknir við þá sem þær framkvæma, svo sem Vatnamælingar, ÍSOR og aðrar stofnanir, verkfræðistofur og háskóla.

Árið 2003 voru sett ný lög um Orkustofnun og henni falin aukin stjórnsluhlutverk, sérstaklega hvað varðar umsýslu með raforkulögum, sem sett voru sama ár.

Jarðhitaskóli Háskóla Sameinuðu þjóðanna hefur verið starfræktur á stofnuninni frá árinu 1978, samkvæmt sérstökum samningi milli utanríkisráðuneytisins og Háskóla Sameinuðu þjóðanna í Tókýó. Er starfsemi skólans mikilvægur þáttur í þróunaraðstoð Íslendinga.

Hér á eftir verður fjallað nokkuð um upphaf rannsókna stofnunarinnar á sviði jarðfræða, jarðhita, vatnafars- og vatnamælinga og einnig um hafsbotsrannsóknir, sem hafa verið í umsjón stofnunarinnar. Einnig er fjallað um Jarðhitaskóla Háskóla Sameinuðu þjóðanna.

Nánari upplýsingar um starfsemi Orkustofnunar er að finna á heimasíðu hennar: [www.os.is](http://www.os.is)



---

# Virkjun jökuláanna

HÁKON AÐALSTEINSSON

## Fyrstu hugmyndir um virkjun jökuláanna

Um aldamótin 1900 komu fram hugmyndir um stóriðju hér á landi, vegna áhrifa frá iðnvæðingu í Evrópu. Nokkrir aðilar tryggðu sér vatnsréttindi en ekkert varð úr framkvæmdum, en réttindin voru eftir sem áður föst hjá „spákaupmönnum“ eins og Jón Þorláksson verkfræðingur ræddi um í erindi sem hann flutti hjá Verkfræðingafélaginu 1917. Það sama ár skipaði ríkisstjórnin samkvæmt áskorun Alþingis, hina svokölluðu fossanefnd til að fjalla um þessi mál og lagði nefndin grunninn að hinum merku vatnalögum nr. 15/1923.

Í tengslum við þá umræðu sem varð um orkuna í fallvötnunum var vegamálastjóra uppálagt fyrir tilverknað fossanefndarinnar að hefja vatnsmælingar og voru settir upp 20 vatnshæðarmælur á árinu 1918. Í einstaka tilfellum komust menn svo langt að hannaðar voru og teiknaðar virkjanir. Þekktastar slíkra eru uppdrættir Norðmannsins Sætersmoen af virkjunum við Búrfell og Urriðafoss.

Á árinu 1919 setti Jón Þorláksson fram fyrstu hugmyndir um vatnsafl Íslands og þykir Jóni hafa tekist ótrúlega vel til í áætlunum sínum, en hann taldi nýtanlegt vatnsafl vera

um 26 TWh/a. Sigurður Thoroddsen, verkfræðingur endurtók þetta mat um þremur áratugum síðar, ólíkt Jóni með talsvert af mælingum í handraðanum, og mat hann vatnsorkuna til 38 TWh/a.

Fyrstu hugmyndir um vatnsafl á Íslandi voru settar fram árið 1919, en þá taldi Jón Þorláksson vatnsorkuna vera um 26 TWh/a. Um þremur áratugum síðar komst Sigurður Thoroddsen að þeirri niðurstöðu að vatnsorka væri um 38 TWh/a. Um 1980 kynnti Orkustofnun niðurstöður mjög ítarlegrar úttektar á því sem telja mætti nýtanlega og hagkvæma vatnsorku, og í skýrslu iðnaðarráðuneytis frá 1994 eru samandregnar niðurstöður áætlana um virkjanir sem nema um 37 TWh/a, auk þeirra 5 TWh/a sem voru virkjaðar. Þeir sem gerst þekkja þessar áætlanir hafa talið að 30 TWh/a væri raunhæft mat á virkjanlegri vatnsorku að teknu tilliti til líklegra umhverfisáhrifa.

Sem kunnugt er varð ekkert úr virkjunarframkvæmdum, fossafélögin týndu tölunni og ríkið leysti til sín vatnsréttindi. Það er ekki fyrr en á sjötta áratug seinustu aldar að farið var fyrir alvöru að huga að stórvirkjunum með stóriðju í huga. Raforkumálaskrifstofan lét gera ítarlegrar áætlanir um virkjanir í Hvítá í Árnassýslu og Þjórsá. Ísland var þá talið meðal fremur

vanþróaðra ríkja, a.m.k. í iðnvæðingu og um 1960 voru sérfræðingar á vegum Sameinuðu þjóðanna fengnir til að ljúka samanburði á virkjunarmöguleikum og leggja á ráðin um nauðsynlegan undirbúning að stórvirkjun. Virkjun við Búrfell varð fyrir valinu.

### *Skipulagsbreytingar 1965–1967*

Í tengslum við þessar ákvarðanir var farið að huga að breytingum á Raforkumálaskrifstofunni, sem fram til þess tíma hafði sameinað rannsóknir á virkjunarmöguleikum, byggingu virkjana, rekstur þeirra og sölu á raforku. Árið 1965 var Landsvirkjun stofnuð um virkjun Þjórsár og 1967 var því sem eftir stóð af skrifstofu raforkumálastjóra skipt í Rafmagnsveitur ríkisins sem yfirtóku rekstur virkjana í eigu ríkisins ásamt dreifingu og sölu raforkunnar, og Orkustofnun, sem falið var það hlutverk að undirbúa nýtingu orkulinda og stunda þær rannsóknir sem nauðsynlegar þóttu í því skyni. Athafnir Landsvirkjunar voru bundnar Þjórsársvæði fram að lagabreytingum 1983 er landið allt varð vettvangur fyrirtækisins.

## Virkjun Þjórsár

Meðan verið var að byggja upp Landsvirkjun stóð Orkustofnun meira og minna fyrir áframhaldandi undirbúningi virkjana í Tungná og Þjórsá, einkum á hraununum ofan Búrfells, þar sem nú standa virkjanir í röðum frá Vatnsfelli og niður úr. Rannsóknirnar voru m.a. um aðstæður til miðlunar í Þórisvatni. Í upphafi gerðu menn sér vonir um að sameina miðlun og virkjun, en á því voru jarðtæknilegir annmarkar. Búrfellsvirkjun tók til starfa 1969 og 1971 fékk Landsvirkjun réttinn til virkjunar Tungnár við Sigöldu og Hrauneyjafoss. Byrjað var að safna í Þórisvatnsmiðlun sum-

arið 1972 og árið eftir var hún komin í fullan rekstur og tryggði orkugetu Búrfellsvirkjunar. Sigölduvirkjun tók til starfa á árunum 1977–78 og Hrauneyjafossvirkjun 1981–82. Með því að Landsvirkjun öðlaðist virkjunarréttinn á svæðinu breyttust rannsóknir Orkustofnunar í þjónustu við fyrirtækið.

Eftir að Orkustofnun hafði lokið eigin athugunum við Þjórsá – Tungná var hafist handa við athuganir á Skaftá einkum möguleikum þess að veita hluta hennar til Tungnár. Nýlega tók Landsvirkjun þær hugmyndir aftur til skoðunar, en ávinningur veitunnar mun koma fram í betri nýtingu í virkjunum hennar.

Árið 1918 setti Norðmaðurinn Sætersmoen fram fyrstu hugmyndir að virkjun við Búrfell. Það var þó ekki fyrr en löngu seinna sem ráðist var í virkjunarframkvæmdir þar og var Búrfellsvirkjun gangsett árið 1969.

## Stórhuga áætlanir um forrannsóknir og stórvirkjanir

Árið 1969 sendi Orkustofnun frá sér hugmyndir um nokkrar stórvirkjanir á hálendi Íslands og áætlun um forrannsóknir á vatnsorku landsins. Í framhaldi af því var hafist handa um að afla nauðsynlegra gagna. Á næstu árum var fjölgað föstum mælistöðvum fyrir rennsli og hafist handa við gerð nákvæmra korta norðanlands og austan. Nákvæmar rennslismælingar og nákvæmir landslagsuppdrættir eru alger forsenda virkjunaráætlana.

## Landmælingar

Frá því um miðjan sjötta áratug og fram á þann níunda mældi Orkustofnun fyrir kort-



Unnið við botnskriðsmælingar við Jökulsá á Dal. Ljósmynd Oddur Sigurðsson.

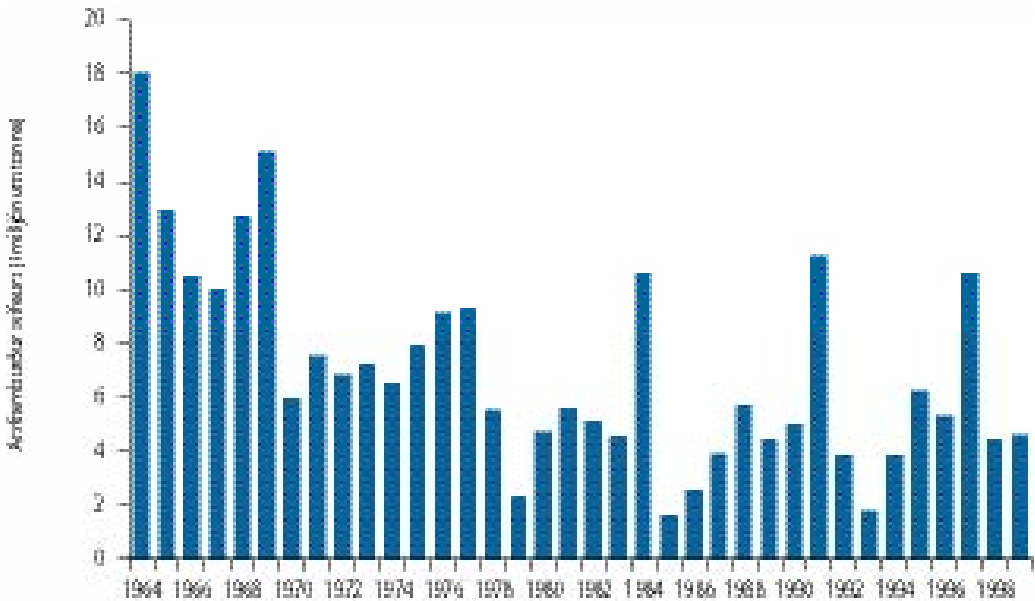
um í mælikvarða 1:20.000 af um þriðjungi landsins og viðeigandi þríhyrninganet, sem lengi var grundvöllur staðsetninga fyrir mælistaði og mannvirki á hálendinu. Á grundvelli þessara mælinga voru teiknuð kort sem spönnuðu um fjórðung landsins. Seinustu kortin af þessu tagi voru gerð á seinni hluta tíunda áratugarins og síðan hefur stofnunin notað upprétt myndkort sem fást á markaði. Öll mæligögn hafa verið afhent Landmælingum Íslands (LMÍ), og Orkustofnun lítur svo á að þessu skeiði í starfsemi hennar sé endanlega lokið. Seinasta verkefni Orkustofnunar á sviði landmælinga var að sjá um að tengja þetta net GPS-mælineti LMÍ (ÍS-93).

## Vatnamælingar

Orkustofnun yfirtók þær vatnamælingar, sem Raforkumálaskrifstofan hafði annast frá 1946 (lög nr. 12/1946). Í kjölfar uppbyggingar vatns-

hæðarmælakerfis í Hvítá og Þjórsá voru settir vatnshæðarkvarðar í allmargar jökulár um land allt. Að jafnaði var lesið af þessum mælum einu sinni á dag. Jökulár eru þess eðlis að þar er mikil dægursveifla auk árstíðasveiflu, og þar var því bráð nauðsyn á sítitandi mælingum, og um og upp úr 1970 voru slíkar mælingar teknar upp í flestum jökulám landsins. Þessum auknu mælingum hefði þá þegar þurft að fylgja betur eftir með auknu starfslíði, en það var ekki fyrr en liðið var á níunda áratug seinustu aldar að það var gert. Sigurjón Rist sem leiddi þessa þróun var mjög opinn fyrir öllum framförum og voru vatnamælingar því lengstum í fremstu röð að tileinka sér tölvutækni í úrvinnslu og framsetningu. Honum var einnig mikið í mun að gera niðurstöður aðgengilegar og starfsemi Vatnamælinga (VM) sýnilega, og sjónvarpið og Morgunblaðið fengu reglulega myndskreytta pistla úr ferðum og starfi vatnamælingamanna.





Ársframburður svifauers í Jökulsá á Dal. Aurburðarrannsóknir eru mikilvægar m.a. við mat á líftíma miðlunarlóna. (Heimild: Jórunn Harðardóttir og Svanur Pálsson).

## Aurburður

Orkustofnun hóf reglulegar aurburðarmælingar á sjöunda áratugi seinustu aldar. Lengst af voru þær að frumkvæði Hauks Tómassonar. Það var mælingunum mikill styrkur að sami rannsóknarmaðurinn, Svanur Pálsson, sá um þær í fjóra áratugi, og enn fremur að sama tækið var notað allan tímann, svonefnd setvog. Líklega er þetta eina tækið sinnar tegundar sem er í notkun í heiminum. Aurburður sest í miðlunarlón virkjana, og ef hann gerir það ekki veldur hann sliti á vélbúnaði. Inntakslón Búrfellsvirkjunar var svo lítið að fljótlega þurfti að dæla burtu aur. Aurburðarmælingar Orkustofnunar sem oft áttu dálítið undir högg að sækja hafa fengið uppreisn æru í seinni tíð. Þekking á aurburði var mikilvæg fyrir ákvarðanir um Kárahnjúkavirkjun, en hvergi hefur hún þó fengið meira vægi en í ákvörðunum um tilhögun Norðlingaölduveitu.

Það er líkt með aurburði og vatnsrennsli að hvorugt verður mælt í eitt skipti fyrir öll, vegna þess hve þau eru háð náttúrulegum breytileika í veðurfari. Margar jökulár koma frá framskriðsjökklum, og það ætti ekki að koma á óvart að framskrið þeirra hefur mikil áhrif á aurburð með því róti sem kemst á laus jarðlög. Algeng tíðni framskriðs eru 30–40 ár, og af þeim sökum verður varla skorið úr um tímabreytileikann á skemmri tíma.

## Jarðboranir og jarðfræðirannsóknir

Þegar Orkustofnun var sett á laggirnar fékk hún í sinn hlut að annast rekstur Jarðborana ríkisins, sem á þeim tíma ráku mikið af minni bortækjum. Uppistaðan í verkefnum þessara bora voru rannsóknarboranir. Rekstur þeirra var samofinn rannsóknnum Orkustofnunar og



*Jarðfræðigagna aflað með jarðborunum á Austurlandi. Snæfell í baksýn. Ljósmynd Oddur Sigurðsson.*

þótti mörgum nóg um, þegar verið var að sam-  
hæfa rannsóknaráætlanir rekstraráætlunum  
Jarðborana. Boranir voru ein af þeim aðferð-  
um sem menn höfðu til að meta þykkt lausra  
jarðlaga. Vegna jarðganga og stöðvarhúshvelf-  
inga þurfti að afla kjarna úr bergi til að mæla  
styrkleika þess o.s.frv. Síðar bættust við ýmsar  
jarðeðlisfræðilegar mælingar.

Jarðfræðikortlagning og síðar jarðtækni-  
rannsóknir voru mikilvægur liður í undirbún-  
ingi virkjana. Markmið þessarar rannsókna var  
að afla gagna vegna áætlana um mannvirkja-  
kostnað og til að meta hvað væri gerlegt. Berg  
þarf að hafa vissa eiginleika svo að það henti  
til jarðgangagerðar og ekki tjóar að reisa stíflu  
á lekum hraunum, nema með aðgerðum til að  
þétta jörðina, sem e.t.v. svara ekki kostnaði.

Ráðgjafastarfsemi einkaaðila einskorðaðist  
á þessum tíma við verkfræðiþjónustu, en öll  
þekking, reynsla og tækjabúnaður til jarð-  
fræði- og jarðtæknirannsókna var á Orku-  
stofnun, og var svo vel fram yfir 1980 að

einstaka aðili byrjaði að bjóða fram þessa  
þjónustu í samkeppni við Orkustofnun.

## Umhverfismál

Fram um 1970 höfðu menn ekki stórar áhyggjur  
af hugsanlegum umhverfisáhrifum af fram-  
kvæmdum ef þær snertu ekki beint hagsmuni  
fólks, t.d. hlunnindi. Sömu sögu er að segja af  
grönnum okkar Norðmönnum, að þar verða  
einnig nokkur tímamót á þessu sviði á sjöunda  
áratugnum, sem m.a. varð til þess að þar var gerð  
verndaráætlun fyrir vatnsföll, sem síðar varð að  
svonenfndu „Samlet Plan“ om vassdrag. Af  
þessu var höfð hliðsjón við gerð svonefndrar  
rammaáætlunar um vatnsafl og jarðvarma.<sup>1</sup> Um  
1970 komu upp tvö mál hérlendis, sem færðu  
mönnum heim sanninn um að nýir tímar væru  
að renna upp, en það voru Laxárdeilan og deilan  
um miðlun við Þjórsáver. Í báðum tilfellum var  
brugðist við með sérstökum rannsóknum, sem



Uppistöðulón Blönduvirkjunar (57 km<sup>2</sup>). Prístikla (ca. 4 km<sup>2</sup>) í forgrunni. Ljós. Oddur Sigurðusson.

jafnframt voru lengi vel langfjarlegustu vistfræðirannsóknir sem hér hefur verið lagt í.

Náttúrufarsrannsóknir urðu frá og með 1974 fastur liður í undirbúningi virkjana á vegum Orkustofnunar og var ráðinn starfsmaður til að sjá um þær sérstaklega. Frá upphafi var aðalreglan að kaupa þjónustu af þar til bærum rannsóknarstofnunum þó stundum hafi brugðið út af því og starfsmenn stofnunarinnar séð um þær.

Þeir annmarkar sem komu í ljós á miðlunarlóni sem næði inn í Þjórsárver urðu kveikja að hugmyndum á Orkustofnun um að veita frá Efri-Þjórsá til Þórisvatns, sem síðar þróaðist í það sem við þekkjum sem Norðlingaölduveitu. Kvíslaveitur eru líklega einnig útfærsla á þeim hugmyndum. E.t.v. má einnig tengja Há-göngumiðlun, sem sömuleiðis á ættir að rekja til Orkustofnunar, efasemdum um þessa miðlun. Þannig hefur það verið undanfarna áratugi, að annmarkar sem koma í ljós við umhverfisathuganir verða tilefni til að kanna nýjar leiðir.

## Blönduvirkjun

Árið 1974 hófust rannsóknir á virkjun Blöndu. Í byrjun voru þær alfarið á forræði Orkustofnunar og voru ýmsar tilhaganir til skoðunar. Á fyrstu árunum fóru fram ítarlegar jarðtæknilegar rannsóknir á skurðleiðum og stíflustæðum, áður en valin var sú meginleið sem að endingu var farin. Það þótti ekki skynsamlegt að rannsóknastofnun sæi um alla þætti þessa undirbúnings, en á þeim tíma sem rannsóknir vegna hönnunar stóðu yfir var Landsvirkjun bundin í báða skó á Þjórsársvæðinu. Var þá Rafmagnsveitum ríkisins falið hlutverk framkvæmdaaðila við undirbúninginn, þar til Landsvirkjun losnaði úr viðjum. Fyrstu umhverfisrannsóknirnar sem voru alfarið að frumkvæði Orkustofnunar voru vegna Blönduvirkjunar og var þar mörkuð stefna sem síðar var reynt að fylgja eftir föngum að fela þær aðilum úr viðkomandi fjórðungi. Nátt-

úrgripasafnið á Akureyri sá um rannsóknir á plöntu og dýralífi, starfsmaður Orkustofnunar og Veiðimálastofnunar um vatnalíf og Rannsóknarstofnun landbúnaðarins um gróðurkortagerð og beitarþolsrannsóknir. Á þeim tíma var beitarþol mál málanna hvað varðaði hlunnindi á hálendinu. Á grundvelli þessara rannsókna fór síðar fram nokkurs konar mat á umhverfisáhrifum, og beitarþolsrannsóknir voru nýttar til að gera áætlun um mótvægis- aðgerðir sem m.a. fólust í uppgræðslu og beitarstýringu. Ítarlegar rannsóknir á fiskigöngum í Blöndu og þverám eru nú mikilvægar fyrir vitneskju um þær breytingar á fiskgöngd sem orðið hafa í ánni neðan virkjunar.

Í Blönduvirkjun reyndi fyrst á þann skrekk sem margir tæknimenn höfðu gagnvart jarðgangagerð. Ekki munaði miklu að yfirborðsveita með pípu niður fjallið að stöðvarhúsi ofanjarðar yrði valin í stað þeirrar jarðgangaveitu með stöðvarhúsi neðanjarðar sem að lokum varð ofan á. Þarna munaði miklu að vel hafði gengið að gera göng í Ólafsfjarðarmúla. Jarðgöng í stað yfirborðsveitna skipta sköpum fyrir áhrif á náttúrufar, og í flestum áætlunum um stórar virkjanir sem menn hafa gert síðan hefur verið byggt á jarðgöngum.

Við hönnun Blönduvirkjunar kom sterklega til greina að leiða vatnið í skurðum í stað þess að grafa göng. Það hafði hins vegar gengið vel að grafa göng í Ólafsfjarðarmúla og því var ákveðið að fara í gangagerð frekar en yfirborðsveitur. Göng hafa mun minni umhverfisáhrif en veitur á yfirborði.

## Austurlandsvirkjanir

Í áætlunum Orkustofnunar frá 1969 voru hugmyndir um að veita vatni allra stóru jökuláanna frá NA-verðum Vatnajökli til einnar virkjunar

í Fljótsdal. Jafnóðum og betri gögn fengust, einkum nákvæmari kort og þekking á jarðfræðilegum aðstæðum, kvarnaðist úr þessari stóru virkjun.

Virkjun Jökulsár í Fljótsdal var nokkuð snemma skilin frá virkjun hinna áнна, og var hún eiginlega ætíð þróuð sem sérstök virkjun. Miðlunarlón á Eyjabökkum var fastur liður en vatnsveitan að virkjunarstað í Fljótsdal var fyrst fyrirhuguð um langan skurð í stórt inntakslón nærri virkjunarstað. Orkustofnun sá í byrjun um allan undirbúning að virkjun, en þróunin varð sú sama og við Blönduvirkjun að á vissu tímabili varð hún þjónn Rarik og síðar Landsvirkjunar. Á þessu tímabili setti Orkustofnun fram hugmyndir um að stækka virkjunina með veitum af Hraunum.

Pegar jarðgöng átta aftur upp á pallborðið voru settar fram hugmyndir um jarðgöng alla leið frá Eyjabakkalóni, og þannig var virkjunin búin undir framkvæmdir. Orkustofnun endurnýjaði sínar hugmyndir um veitur til virkjunarinnar frá Hraunum, og var þá gert ráð fyrir að ef virkjunin yrði ekki strax miðuð við veituna, mætti huga að henni síðar.

Hugmyndir um virkjun Jökulsár á Fjöllum þróuðust frá veitu til Jökulsár á Dal, í gegnum athuganir á virkjun í eigin farvegi og að þeirri hugmynd sem að lokum var staldrað við, þ.e. að veita úr ánni austur á Fljótsdalshérað og virkja í tveimur áföngum, þeim fyrri niður á Jökudal neðan við Brú og síðan áfram til Fljótsdals. Virkjanir í eigin farvegi hefðu annars vegar valdið miklu raski í þjóðgarðinum og hins vegar reyndist veituleið norður Hólsfjöll svo sundurtætt af kvikum sprungum að þar hefði ekki verið mögulegt að hemja vatn.

Við virkjun úr Jökulsá á Dal voru fyrst og fremst skoðaðar tvær leiðir. Annars vegar með virkjun í tveimur áföngum þar sem sá fyrri var frá lóni sem svarar til Háslóns niður fyrir Hafrahvammagljúfur (Dimmugljúfur) og sá



*Hafursfoss. Snæfell í baksýn. Ljósmynd: Oddur Sigurðsson.*

síðari til Fljótisdals eins og í veitu úr Jökulsá á Fjöllum. Hins vegar voru skoðaðar hugmyndir um að setja síðari áfangann í þrepavirkjanir á dalnum. Nánar var fjallað um þróun þessra hugmynda í riti frá iðnaðarráðuneytinu 1994.<sup>2</sup>

Nú liggur það fyrir með framkvæmdum við virkjun Jökulsár á Dal, að Fljótisdalsvirkjun með hluta af Hraunaveitu er sameinuð henni í Kárahnjúkavirkjun. Eyjabakkalón verður ekki gert en í staðinn varð Háslón nokkru stærra en áður hafði verið gert ráð fyrir.

Orkustofnun er að láta endurskoða virkjun Jökulsár á Fjöllum. Í fyrsta lagi endurskoðun fyrri hugmynda með nýjum kostnaðarforsendum. Í öðru lagi með samanburði á miðlunar- og rennslisvirkjun. Í þriðja lagi með

samanburði á virkjun í einum eða tveimur áföngum.

Með þessu gerir Orkustofnun upp þær rannsóknir sem hún hefur stundað við og á Jökulsá á Fjöllum, a.m.k. í bili, enda hefur verið ákveðið að ráðstafa svæðinu undir hluta af Vatnajökulspjóðgarði. Áfram mun þó Orkustofnun mæla rennsli og aurburð í ánni.

## Tilvísanir

<sup>1</sup> Niðurstöður 1. áfanga rammaáætlunar. Verkefnisstjórn um gerð rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma og iðnaðarráðuneytið, nóvember 2003.

<sup>2</sup> Virkjanir norðan Vatnajökuls. Upplýsingar til undirbúnings stefnumótun.

---

# Jarðhiti í stað olíu við húshitun

– Sparnaður fyrir þjóðarbúið og minni mengun

ÁRNI RAGNARSSON

Mikil þróun hefur orðið á síðustu áratugum varðandi orkugjafa til húshitunar hér á landi. Orkustofnun, Íslenskar orkurannsóknir og forverar þessara stofnana hafa allt frá því á fimmta áratug síðustu aldar unnið rannsóknar- og þróunarstarf sem leitt hefur til þess að Íslendingar nýta nú jarðhita til að hita nærri 90% af öllu húsnæði. Árangur þessa starfs er gríðarlega mikill sparnaður í innfluttu eldsneyti og lægri hitunarkostnaður en í flestum öðrum löndum.

## Eldsneyti til upphitunar

Á köldu landi eins og Íslandi er meiri þörf fyrir upphitun húsa en víðast hvar annars staðar. Frá upphafi byggðar hefur því verið þörf fyrir orkugjafa til hitunar á hífýlum manna þó framan af hafi upphitun verið takmörkuð við helstu íverustaði. Í upphafi var notast við opinn eld, langeld, þar sem orkugjafinn var viður. Á þakinu var op, ljóri, til þess að hleypa reyknium út og birtu inn. Eftir því sem gekk á eldivið í landinu virðist sem minna hafi verið um beina upphitun húsnæðis og á nítjándu öld urðu margir að láta sér nægja hitann sem stafaði frá hlóðum til eldunar eða að ylor frá bú-

fénaði var nýttur til að hita upp húsnæði. Þetta átti þó ekki við um hífýli embættismanna og heldra fólks en þar voru yfirleitt hitunarfarn og reykháfar. Á síðari hluta nítjándu aldar fór að tíðkast að hita íverustaði með eldstó sem jafnframt var eldavél, einkum eftir frostaveturinn mikla 1880–1881. Miðstöðvarhitun, þar sem varma er dreift um húsið með heitu vatni í rörum sem mynda lokaða hringrás, ruddi sér til rúms hér á landi um aldamótin 1900. Til að byrja með var fyrst og fremst um svonefndar miðstöðvareldavélar að ræða.

Fyrr á öldum var mór mikið notaður sem eldsneyti til húshitunar og einnig þang. Þetta tíðkaðist jafnvel lengi eftir að farið var að flytja inn kol og nota til húshitunar upp úr 1870. Til sveita var algengast að brenna sauðataði, enda erfitt með flutninga á kolum eða mó þar sem akvegi skorti. Notkun kola til húshitunar fór vaxandi í byrjun 20. aldar og var helsti orkugjafinn til þeirra nota allt fram yfir síðari heimsstyrjöld, en eftir það fór kolanotkun ört minnkandi. Á árum fyrri heimsstyrjaldarinnar var skortur á eldsneyti til upphitunar í Reykjavík eins og á ýmsum öðrum nauðsynjavörum. Verð á kolum var einnig hátt á þessum tíma. Þeir sem notuðu kol til upphitunar húsa áttu í samkeppni við bæði gufuvélar togara-





*Kolareykur yfir Reykjavík um 1940. Myndin er tekin vestur yfir borgina frá vatnsgeymi við Háteigsveg. Ljósmynd: Orkuveita Reykjavíkur.*

flotans og gasstöðina sem nýlega hafði verið reist í Reykjavík til að framleiða orku til ljósa og eldunar. Minningar um köld hús á stýrjaldarárunum voru því Reykvíkingum lengi ofarlega í huga.

## Olía kemur til sögunnar

Notkun olíu hér á landi hófst um aldamótin 1900. Í upphafi var um að ræða notkun til ljósa, á litla fiskibáta og síðar bensín á bíla. Notkun olíu til húshitunar að einhverju marki hófst eftir fyrri heimsstyrjöldina og um 1950 var svo komið að um 20% landsmanna notaði olíu til hitunar og 40% kol. Á sama tíma nutu um 25% landsmanna jarðhita frá hitaveitu. Á 6. áratug 20. aldar varð mikil þróun í tækja-

búnaði til olíuhitunar og jókst olíunotkun mikið í kjölfarið. Þetta leiddi til þess að um 1960 hafði kolum nánast verið útrýmt sem orkugjafa til húshitunar hér á landi. Á þessum árum varð einnig mikil þróun í stýribúnaði fyrir miðstöðvakerfi og fljótlega urðu fyrstu gerðir sjálfvirkra ofnhitastilla algengar.

Skömmu eftir aldamótin 1900 var farið að reisa litlar vatnsaflsstöðvar hér á landi sem hentuðu sveitaheimilum til ljósa, eldunar og stundum einnig til upphitunar húsa. Slíkar einkastöðvar náðu töluverðri útbreiðslu og síðar tóku rafveitur sem þjónuðu almenningi til starfa í þéttbýli víða um land. Rafhitun varð þó ekki umtalsverð fyrr en eftir að stærri virkjanir eins og Ljósafossvirkjun og Laxárvirkjun höfðu verið reistar á fjórða og fimmta áratug síðustu aldar.

### Meðalverð á hráolíu (Arabian Light) 1970–2005

Verð í ársbyrjun á verðlagi janúar 2005



Meðalverð á hráolíu (Arabian Light) 1979–2005. Verð í ársbyrjun á verðlagi janúar 2005. Heimild EIA (Energy Information Administration), USA.

Árið 1907 leiddi bóndinn á Sturlureykjum í Borgarfirði gufu eftir steyptri pípu í íbúðarhús sitt og árið 1909 var hveravatn fyrst notað til upphitunar íbúðarhúss. Var það á Suður-Reykjum í Mosfellssveit.

Þá var lögð 3 km löng leiðsla úr Þvottalaugunum í Reykjavík að Austurbæjarskóla og á næstu árum voru Landspítalinn, Sundhöllin og Laugarnesskóli tengd hitaveitunni ásamt 60 íbúðarhúsum í nágrenninu. Stórum áfanga var síðan náð árið 1943 þegar formlegur rekstur Hitaveitu Reykjavíkur hófst og vatni var hleypt á nýja lögn frá Reykjum í Mosfellssveit. Í árslok 1945 voru 2.850 hús tengd veitunni, en íbúar í Reykjavík voru þá rúmlega 44 þúsund.

Austurbæjarskólinn var fyrsta húsið í Reykjavík sem tengt var hitaveitu. Það var árið 1930.

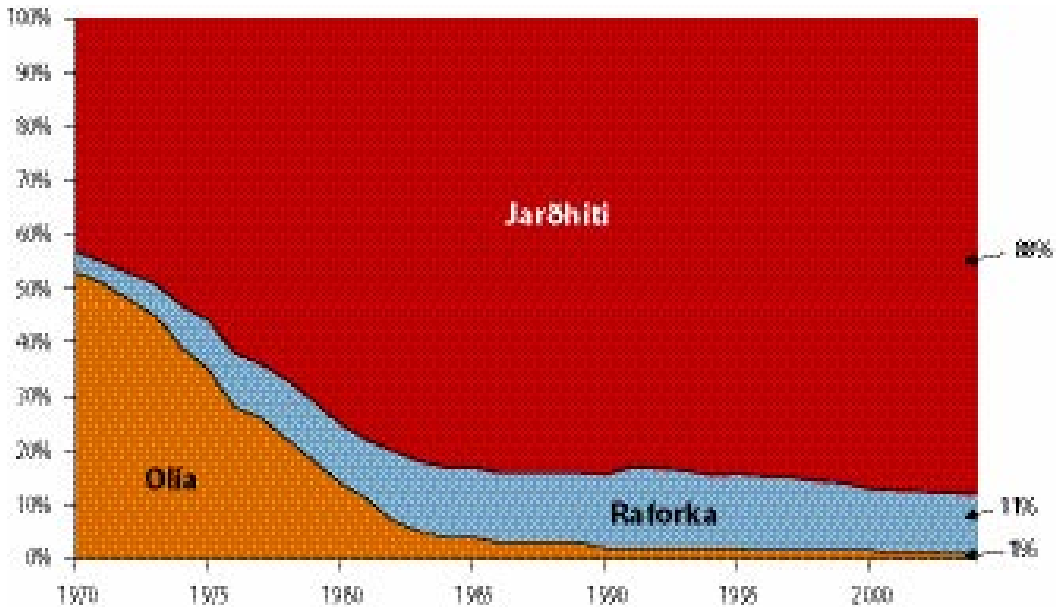
## Upphaf jarðhitanýtingar

Upphaf nýtingar jarðhita til húshitunar hér á landi má rekja til ársins 1907 þegar Erlendur Gunnarsson bóndi á Sturlureykjum í Reykholtssdal leiddi gufu frá hver neðan við bæinn eftir steyptri pípu í íbúðarhús sitt sem stóð 6 metrum hærra í landinu en hverinn. Árið 1909 er síðan í fyrsta sinn notað hveravatn til húshitunar, en fyrir því stóð Stefán B. Jónsson á Suður-Reykjum í Mosfellssveit. Með tilkomu Laugaveitunnar árið 1930 má segja að hitaveituvæðing hafi hafist hér á landi.

## Áhrif olíukreppu á orkuverð

Þegar olíukreppan skall á árið 1973 hækkaði heimsmarkaðsverð á hráolíu um 70% á skömmum tíma. Um þetta leyti, eða árið 1970,



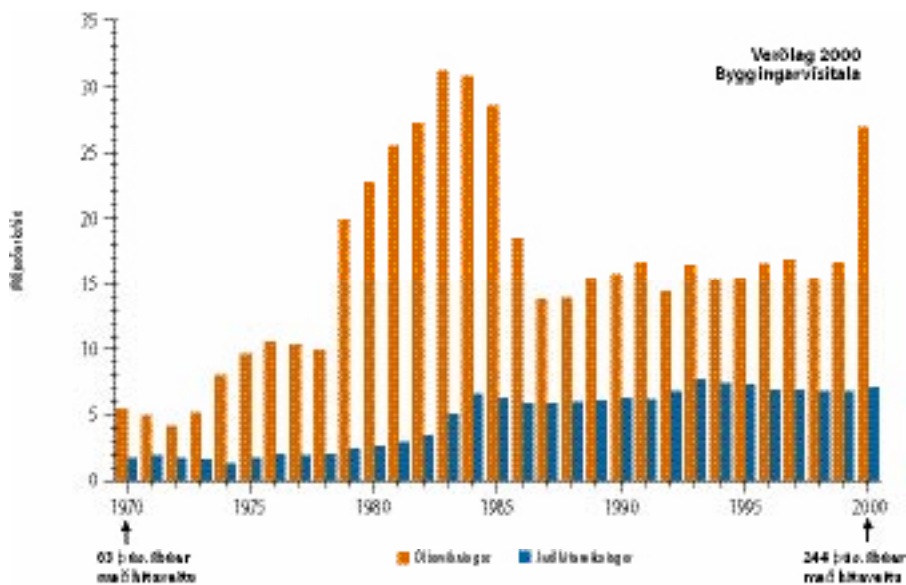


Hlutfallsleg skipting orkugjafa til húshitunar frá 1970.

er talið að milli 80 og 90 þúsund manns hafi notið hitunar með jarðhita hér á landi eða um 43% þjóðarinnar. Á sama tíma stóð olíuhitun undir rúmlega 50% af hituninni og raforka afganginum. Til að draga úr áhrifum olíuverðshækkana hóf ríkisvaldið að greiða þeim sem notuðu olíu til hitunar íbúðarhúsnæðis svokallaða olústyrki, og hélt sú skipan allt til ársins 1986. Þrátt fyrir að hlutur olíuhitunar í heildarhitun húsnæðis hafi minnkað á árabílinu 1973 til 1979 úr 45% í 18% breyttist hlutur olíu í heildarkostnaði vegna hitunar lítið á þessu tímabili, en hann var milli 50 og 60% af heildinni. Slík voru áhrif olíuverðshækkanna. Olíukreppurnar árin 1973 og 1979 urðu til þess að breyta íslensku orkustefnu á þann veg að mikil áhersla var lögð á að draga úr innflutningi á olíu og auka þess í stað hlut innlendra orkugjafa, vatnsafls og jarðvarma. Þessi stefna lýsti sér m.a. í átaki í jarðhitaleit og byggingu nýrra hitaveitna víða um land.

Þrátt fyrir að hlutur olíuhitunar í heildarhitun húsnæðis hafi minnkað á árabílinu 1973 til 1979 úr 45% í 18% breyttist hlutur olíu í heildarkostnaði vegna hitunar lítið á þessu tímabili.

Hlutfallsleg skipting húshitunar hér á landi eftir orkugjöfum hefur frá árinu 1970 þróast eins og myndin hér fyrir ofan sýnir. Aukning í hlut jarðhitans á áttunda áratugnum kemur þar vel fram en frá því um 1985 hafa hlutföllin breyst tiltölulega lítið. Enn er þó aukning í hlut jarðhitans og til langs tíma lítið gæti hlutur hans vaxið úr núverandi 88% í 92% samkvæmt spá Orkuspárnefndar. Hitun með olíu heldur áfram að minnka og er nú um 1% af heildinni. Rafhitun stendur undir um 11%, en um þriðjungur þess er hitun frá svokölluðum kyntum veitum þar sem vatn er hitað með raforku í kyndistöð.



Samanburður á kostnaði við kyndingu með olíu og jarðhita.

## Sparnaður við notkun jarðhita í stað olíu

Til að gera sér grein fyrir efnahagslegum áhrifum þeirrar stefnu stjórnvalda að auka nýtingu jarðhita er hægt að bera saman annars vegar raunverulegar heildargreiðslur notenda fyrir heitt vatn til húshitunar á undanförunum áratugum og hins vegar það sem ætla má að þeir hefðu þurft að greiða ef annar orkugjafi hefði verið notaður. Guðmundur Pálmason gerði slíka útreikninga fyrir tímabilið 1970–1995, sem hafa verið framreiknaðir til ársins 2000. Þar er gert ráð fyrir að olía hefði verið notuð til upphitunar ef jarðhitans hefði ekki notið við, en að öðru leyti gert ráð fyrir sömu þörfum í báðum tilvikum, t.d. varðandi innihita, húsrými og þar með orkuþörf. Þar kemur fram að hreinn sparnaður af notkun jarðhitans til hitunar varð mestur á árinu 1983 eða 26 milljarðar króna á verðlagi

ársins 2000. Uppsafnaður sparnaður á 30 ára tímabili, 1970–2000, var um 356 milljarðar króna, reiknað á verðlagi ársins 2000. Reiknað til núvirðis á árinu 2000 með 4% vöxtum jafngildir þetta um 650 milljörðum króna eða meira en þreföldun á fjárlögum íslenska ríkisins það ár. Að meðaltali fyrir allt tímabilið jafngildir þetta 50 þúsund króna sparnaði á ári á hvern íbúa landsins.

Jóhannes Zoëga fyrrverandi hitaveitustjóri í Reykjavík, gerði svipaða útreikninga og lýst var hér að framan fyrir Hitaveitu Reykjavíkur (nú Orkuveitu Reykjavíkur) sérstaklega. Hans niðurstaða var að sparnaður af hitaveitunni frá upphafi, samanborið við olíuhitun, hefði numið um 200 milljörðum króna á verðlagi ársins 2001. Hitaveita Reykjavíkur á því stóran hlut í þeim sparnaði sem jarðhitinn hefur fært landsmönnum, bæði vegna stærðar sinnar og einnig vegna þess að orkuverð til hitunar í Reykjavík hefur verið lágt miðað við margar

nýrri hitaveitur og tiltölulega stöðugt að raungildi yfir langt tímabil.

Skiptar skoðanir geta verið um réttmæti þeirrar forsendu sparnaðarútreikninganna sem lýst var hér að framan að ef jarðhitans nyti ekki við myndi olía alfarið vera notuð í staðinn. Hugsanlega hefði þróunin orðið sú að aðrir orkugjafar hefðu umtalsverða þýðingu, t.d. raforka unnin úr vatnsafla á svipaðan hátt og t.d. í Noregi. Einnig má gera ráð fyrir að orkusparnaður hefði fengið meira vægi ef aðrir og dýrari orkugjafar hefðu orðið ofan á. Hvað sem þessu líður er ljóst að fjárhagslegur sparnaður þjóðarbúsins af notkun jarðhita til húshitunar er gríðarlega mikill og hann á verulegan þátt í þeirri velmegun sem ríkir í landinu.

Auk fjárhagslegs ávinnings hefur notkun jarðhita til húshitunar haft umtalsverð áhrif í umhverfislegu tilliti þar sem bæði jarðhiti og vatnsorka flokkast sem endurnýjanlegir orkugjafar, andstætt jarðeldsneyti eins og kolum, olíu og gasi.

Auk fjárhagslegs ávinnings hefur notkun jarðhita til húshitunar haft umtalsverð áhrif í umhverfislegu tilliti. Bæði jarðhiti og vatnsorka flokkast sem endurnýjanlegir orkugjafar, andstætt jarðeldsneyti eins og kolum, olíu og gasi. Jarðhitinn er því umhverfisvænn samanborið við jarðeldsneyti og með því að nota jarðhita til húshitunar komumst við hjá því að losa út í andrúmsloftið umtalsvert magn gróðurhúsalofttegunda og annarra skaðlegra efna, sem óhjákvæmilega fylgja brennslu olíu. Lagt hefur verið gróft mat á hve mikla losun koltvísýrings jarðhitinn hefur sparað okkur Íslendingum. Gera má ráð fyrir að jarðhiti til húshitunar sé ígildi um 600 þúsund tonna af olíu á ári og brennsla á því magni losar um 1.900 þúsund tonn af koltvísýringi út í andrúmsloftið. Þar

sem jarðhitinn losar hverfandi magn af koltvísýringi má segja að hitun með jarðhita dragi úr losun koltvísýrings sem þessu nemur. Samkvæmt opinberum tölum var heildarlosun koltvísýrings hér á landi árið 1997 2.282 þúsund tonn. Nýting jarðhita til húshitunar lækkar því koltvísýringalosun um 45% miðað við hitun með olíu.

Almennt má segja að hér á landi hafi notendur ekki mikið val um það hvaða orkugjafa þeir nota til húshitunar. Hagkvæmustu hitaveiturnar, einkum á höfuðborgarsvæðinu, hafa skapað mun lægra orkuverð en þekkest í flestum öðrum löndum og þar með gert samkeppni á milli orkugjafa að engu. Forsendur fyrir þeim hitaveitum sem byggðar voru eftir olíukreppurnar á áttunda áratugnum byggðust á háu olíuverði og voru því taldar hagkvæmar þrátt fyrir að stofnkostnaður sumra þeirra væri mjög hár. Kostnaður notenda hjá þessum veitum hefur að sama skapi verið hár ef miðað er við kostnað notenda í Reykjavík. Síðan þetta var hafa orðið miklar sveiflur í olíuverði þó almennt hafi það verið mun lægra en menn sáu fyrir þegar hitaveituvæðingin stóð sem hæst. Vegna fjárhagserfiðleika nokkurra hitaveitna sem byggðar voru á þessum árum kom ríkisvaldið til aðstoðar með því að létta skuldum af veitunum og tryggja þannig rekstrargrundvöll þeirra.

## Jöfnun orkuverðs

Jöfnun orkuverðs í landinu hefur um áratuga skeið verið á stefnuskrá íslenskra stjórnvalda. Framkvæmd þessarar stefnu hefur birst í ýmsum myndum og varðandi húshitun má nefna olústyrki sem áður var getið, en þeir voru greiddir meðan olíuverð var sem hæst og fram til 1986. Raforka til hitunar íbúðarhúsnæðis hefur verið niðurgreidd af ríkinu frá



Unnið að lagningu hitaveitu á Eskifirði. Ljósmynd: Pétur Sörensson.

árinu 1982 og á árinu 2002 voru sett sérstök lög um niðurgreiðslurnar, lög nr. 78/2002. Þær nema nú um 900 milljónum króna á ári og fer lítil hluti af þeirri upphæð til að niðurgreiða kostnað við olíuhitun hjá þeim sem ekki eiga kost á að hita íbúðarhúsnæði á annan hátt. Segja má að í framkvæmd hafi jöfnun hitunarkostnaðar með niðurgreiðslum verið þannig að þeir sem ekki eiga kost á að tengjast hitaveitu greiði álíka mikið fyrir hitun íbúðarhúsnæðis og notendur hjá dýrustu hitaveitunum.

Rétt er að benda á að hár orkukostnaður er ekki endilega bundinn við sérstaklega hátt orkuverð. Ástand húsa, sérstaklega eldri húsa, er mismunandi hvað varðar einangrun, stýringu hitakerfa og fleira og einnig eru þarfir og venjur þeirra sem í húsunum búa ólíkar. Þannig getur hitunarkostnaður tveggja jafnstórra húsa á sama landsvæði verið mjög

mismunandi. Lausnin á háum hitareikningi getur því falist í endurbótum á húsnæðinu eða leiðbeiningum til íbúanna um leiðir til orkusparnaðar með skynsamlegri notkun hitakerfisins. Hinu má heldur ekki gleyma að nýting jarðhita, bæði til húshitunar og annarra nota eins og í heita potta og til snjóbræðslu, býður upp á þægindi sem ekki er raunhæft að fá með notkun annarra orkugjafa. Margir sækjast eftir þessum kostum jarðhitans og eru tilbúnir að greiða þó nokkuð fyrir að njóta þeirra.

## Þáttur ríkisvaldsins í þróun jarðhitanytingar

Þáttur ríkisvaldsins í þróun jarðhitanytingar hér á landi felst að verulegu leyti í forgöngu um rannsóknir á eðli jarðhitans og nýtingarmöguleikum hans. Þetta hófst á fimmta

áratug síðustu aldar hjá embætti raforkumála-  
stjóra og var síðar um áratuga skeið í höndum  
arftaka hennar, Orkustofnunar, sem sett var  
á laggirnar 1967. Tilgangurinn hefur verið  
öflun almennrar þekkingar um orkulindina í  
því augnamiði að gera nýtingu hennar mögu-  
lega til hagsbóta fyrir þjóðarþúið. Eins og  
komið hefur fram áður hefur náðst mikill  
og góður árangur á þessu sviði, sérstaklega  
hvað varðar öflun orku til húshitunar. Þenn-  
an árangur má að verulegu leyti þakka þeirri  
sérfræðiþekkingu sem hefur byggst upp með  
jarðhitarannsóknnum sem stundaðar hafa verið  
á Orkustofnun í áratugi. Nú síðustu árin  
eru þessar rannsóknir í höndum Íslenskra  
orkurannsóknna (ÍSOR), sem urðu til sem sjálf-  
stæð stofnun í eigu ríkisins við aðskilnað  
rannsóknahluta Orkustofnunar frá annarri  
starfsemi árið 2003. Þróaðar hafa verið nýjar  
og árangursríkar aðferðir við leit að jarðhita  
sem leitt hafa til þess að hitaveitur eru orðnar  
að veruleika á stöðum sem áður voru á svo-  
kölluðum „köldum svæðum“ þar sem ekki  
hafði verið gert ráð fyrir að finndist nýtanlegur  
jarðhiti. Dæmi um þetta eru Stykkishólmur og

Eskifjörður. Jarðhitaiðnaðurinn á Íslandi hef-  
ur fyrir löngu slitið barnsskónum og hlutverk  
hins opinbera í jarðhitarannsóknnum er því  
minna en áður. Öflug orkufyrirtæki standa í  
auknum mæli fyrir nauðsynlegum rannsóknum  
á jarðhitasvæðum sem þau ýmist þegar  
nýta eða hafa fengið heimildir til að rannsaka  
með nýtingu í framtíðinni í huga.

Stykkishólmur og Eskifjörður eru dæmi um  
staði sem eru á svokölluðum köldum svæðum  
en þrátt fyrir það hefur fundist þar nægjanlega  
mikið heitt vatn fyrir hitaveitu.

Ríkisvaldið hefur einnig stuðlað að aukinni  
nýtingu jarðhita með rekstri Orkusjóðs. Hann  
varð til við sameiningu raforkusjóðs og jarð-  
hitasjóðs á árinu 1967 og hefur m.a. veitt fjölda  
lána til jarðhitaleitar á undanförunum áratug-  
um. Þar sem árangur af borunum hefur ekki  
verið í samræmi við væntingar eða kostnaður  
orðið meiri en áætlað var hafa endurgreiðslur  
lántakenda í mörgum tilvikum verið felldar  
niður. Samkvæmt lögum nr. 87/2003, er Orku-  
sjóður nú starfræktur innan Orkustofnunar.

---

# Virkjun jarðhita til raforkuvinnslu

## – Reynslusaga frá Kröfluvirkjun

VALGARÐUR STEFÁNSSON

### Upphaf jarðhitanytingar

Á Íslandi hófst nýting jarðhita með húshitun á fyrri hluta síðustu aldar og hafa Íslendingar alla tíð síðan verið í fararbroddi í beinni nýtingu jarðhitans. Hins vegar tók það jarðhitabjóðina um þrjá áratugi að koma nýtingu jarðhita til raforkuvinnslu í viðunandi horf. Koma þar við sögu ýmsar mannlegar og þjóðfélagslegar ástæður sem vikið verður að í þessari grein.

Á sínum tíma þótti virkjun 15 MW jarðgufustöðvar í Hveragerði mjög álitlegur virkjunarkostur og hefði sá kostur eflaust orðið fyrir valinu ef ekki hefði komið til óvænt aukning raforkumarkaðar með álverinu í Straumsvík. Í staðinn var því ráðist í mun stærri vatnsaflsvirkjun við Búrfell. Lítil þriggja megavatta jarðgufustöð var sett upp í Bjarnarflagi 1969, en það er fyrst með Kröfluvirkjun sem marktæk reynsla fæst af virkjun jarðhita til raforkuvinnslu. Reyndist það vera margslungið verkefni, en eftir þriggja áratuga aðlögunartíma hefur þessi tækni þó náð svo langt að vinnsla raforku úr jarðvarma á Íslandi er hagkvæmari en í flestum öðrum löndum.

Íslendingar hafa náð góðum tókum á virkjun jarðvarma til raforkuframleiðslu og er sú vinnsla hagkvæmari hér er víðast hvar annarsstaðar í heiminum.



Frá Kröfluvirkjun. Ljósmynd: Benedikt Steingrímsson.

### Kröfluvirkjun

Að mörgu leyti var virkjun jarðhitans í Kröflu einstæð í sögu orkumála á Íslandi. Virkjunin var ákveðin í kjölfar átaka um umhverfismál, framkvæmd verksins var í höndum þriggja aðila þar sem samræming aðgerða var í lágmarki, eldgos hófust á virkjunarsvæðinu skömmu eftir að framkvæmdir hófust og mál-

ið allt varð mjög heitt pólitískt bitbein hjá allri þjóðinni. Þessar aðstæður settu mikinn svip á framvindu mála og fram að þessu hefur reynst erfitt að fjalla um þennan þátt Íslandssögunnar á hlutlausan hátt.

### *Aðstæður*

Fyrir þremur áratugum var raforkukerfi landsins ekki samtengt heldur voru fyrir hendi nokkur sjálfstæð veitusvæði. Um 1970 var fyrirsjáanlegur raforkuskortur á Norðurlandi og hugðist Laxárvirkjun bæta úr því með því að stækka Laxárstöð. Til þess þurfti að byggja stíflu í mynni Laxárdals og hækka vatnsborð í lóni dalsins. Þessi virkjunaráform féllu í grýttan jarðveg hjá heimamönnum og upphófst hatrömm deila um málið, svo kölluð Laxárdeila. Lyktir þeirra mála urðu þær að fallið var frá að hækka vatnsborð lónsins í Laxárdal og varð því lítið úr stækkun virkjunarinnar. Þar með var komin upp sú staða að ekki var hægt að auka vinnslu í Laxárvirkjun eins og fyrirhugað hafði verið og ekki voru fyrir hendi aðrir virkjunarkostir í vatnsafla á veitusvæðinu sem hægt væri að koma í gagn við á nægilega skömmum tíma til þess að mæta raforkuþörf á Norðurlandi.

Í þessari stöðu þótti fýsilegt að reisa jarðvarmastöð á svæðinu, fyrst og fremst vegna þess að það tæki skemmri tíma að koma slíkri virkjun í gagn við heldur en vatnsaflsvirkjun. Til greina kom að reisa virkjunina við Námafjall eða í Kröflu. Eftir að boraðar höfðu verið tvær rannsóknarholur í Kröflu á árinu 1974 var tekin ákvörðun um að virkjunin skyldi reist í Kröflu.

Eftir á að hyggja má eflaust halda því fram að rannsóknir á Kröflusvæðinu hafi verið í minnsta lagi fyrir ákvarðanatöku um 60 MW virkjun í Kröflu, en stærð virkjunar (fjárfesting) er yfirleitt látin hafa áhrif á umfang þeirra rannsókna sem gerðar eru áður en ákvörðun

um virkjun er tekin. Það sem skipti þó meira máli fyrir framvindu mála var að enginn einn aðili bar ábyrgð á framkvæmdinni heldur var verkinu skipt á þrjá aðila. Sérstakri nefnd sem alþingi skipaði, Kröflunefnd, var falið að reisa virkjunina, Orkustofnun var falið að afla gufu fyrir virkjunina og Rarik fékk það verkefni að leggja háspennulínu frá Kröflu til Akureyrar. Ekki var gert ráð fyrir samráði eða samræmingu á milli framkvæmdaraðilana, enda kom á daginn að mjög skorti á heildarsýn við verkefnið.

Þetta fyrirkomulag á virkjunarframkvæmdum er einsdæmi í virkjanasögu landsins. Rarik hafði að vísu reynslu í að reisa háspennulínu, en hvorki Kröflunefnd né Orkustofnun höfðu á þessum tíma beina reynslu af virkjunarframkvæmdum. Orkustofnun var lögum samkvæmt rannsóknarstofnun og þó svo að stofnunin hefði mikla þekkingu á jarðhita og jarðborunum og þó svo að stofnunin hefði aflað gufu fyrir Kísiliðjuna í Mývatnssveit, var þetta stærra framkvæmdarhlutverk en stofnuninni hafði áður verið falið. Þekking Kröflunefndarmanna á virkjunarframkvæmdum var eðlilega mjög takmörkuð. Einhverra hluta vegna voru ekki fulltrúar frá öllum þingflokkum í Kröflunefnd, en það fyrirkomulag að útiloka einn þingflokkinn frá nefndinni varð til þess að sá flokkur beitti sér sérstaklega gegn starfi nefndarinnar. Þar með varð öll virkjunarframkvæmdin strax pólitískt bitbein bæði innan þings og utan.

### *Uppákomur*

Óvanalegar uppákomur urðu við virkjun jarðhitans við Kröflu. Hér verða talin til þrjú atriði: eldgos á virkjunarsvæði, óvæntir eiginleikar jarðhitakerfis og mengun jarðhitavökva af kvikugösom. Þessar uppákomur höfðu áhrif á gang mála í Kröflu eins og hér verður vikið að.

## Eldgos

Í desember 1975 kom upp stutt eldgos norðan við Leirhnjúk sem er aðeins í fárra kílómetra fjarlægð frá holu 4 sem þá var nýboruð. Þegar gosið hófst var búið að bora þrjár vinnsluholur í Kröflu auk þeirra tveggja rannsóknarhola sem boraðar voru á árinu 1974. Eldgosið var ekki mjög stórt en það kom miklu róti á menn, bæði þá sem unnu að virkjunarundirbúningi við Kröflu en þó öllu meiri hjá fólki sem var ekki beinlínis tengt Kröflu. Eldgos eru ekki hversdagslegir hlutir og nálægð gosstöðva við virkjunarframkvæmdir varð til þess að mikil vinna var sett í að rannsaka hegðun eldvirkinnar. Komu að því verki flestir jarðvísindamenn landsins og varð árangur þeirrar vinnu mjög góður. Það tókst að skýra hegðun eldvirkinnar á mjög sannfærandi hátt með streymi kviku inn og út úr kvikuhólfi á 3–7 km dýpi undir Kröfluöskjunni. Þetta líkan af eldvirkninni í Kröflu varð m.a.s. til þess að hægt var í stórum dráttum að segja fyrir um framvindu eldvirkinnar. Þessar niðurstöður eldfjallarannsóknna í Kröflu höfðu veruleg áhrif á afstöðu manna til eldvirkinnar. Það eru eðlileg viðbrögð mannskepnunnar að hræðast það sem þeir þekkja ekki og aukinn skilningur á hegðun eldvirkinnar varð til þess að draga úr almennri hræðslu við hana.

Við upphaf Kröfluelda lýstu ýmsir jarðvísindamenn þeirri skoðun sinni að hætta ætti við allar framkvæmdir í Kröflu vegna eldvirkinnar. Erfitt er að meta gæði þessarar ráðleggingar. Ekki er hægt að segja til um hver hefði orðið þróun virkjunarmála ef hætt hefði verið við Kröflu í byrjun árs 1976. Hvort sem það var meðvituð ákvörðun eða almenn þrjóska, varð niðurstaðan sú að halda áfram við Kröflu og reyna að finna leiðir til að lifa við þá erfiðleika sem eldvirknin hafði á allar framkvæmdir á svæðinu.



*Frá eldsumbrotum í Kröflu. Ljósmynd: Benedikt Steingrímsson.*

Samspil eldfjalla- og jarðhitarannsóknna á Kröflusvæðinu bættu verulega skilningi á sambandi jarðhitans við eldvirkni. Sú vitneskja hefur nýst við jarðhitarannsóknir frá þeim tíma.

Niðurstöður eldfjallarannsóknanna skiptu verulegu máli fyrir framvindu málsins. Bein- ar eldfjallarannsóknir höfðu áþreifanleg fjárhagsleg áhrif á aðgerðir í Þjóðfélaginu. Hitt er þó minna þekkt að samspil eldfjalla- og jarðhitarannsóknna á svæðinu bættu verulega skilning á sambandi jarðhitans við eldvirkni og hefur sú vitneskja haft veruleg áhrif á allar jarðhitarannsóknir síðan. Það má því segja að þó svo að Kröflueldar hafi skapað erfiðleika við virkjun í Kröflu, hafa menn borið gæfu til að nýta þá auknu þekkingu á eðli jarðhitans sem fékkst í Kröflu við rannsóknir á öðrum jarðhitasvæðum.

## Eiginleikar jarðhitakerfis

Þegar virkjunarframkvæmdir hófust í Kröflu þekktu jarðhitasérfræðingar einungis tvenns konar háhitasvæði. Annars vegar svæði þar sem jarðhitavökvinn í berginu er heitt vatn (vatnskerfi) og hins vegar svæði þar sem hrein





*Kröfluvirkjun í bjarma frá eldgosinu. Ljósmynd: Benedikt Steingrímsson.*

gufa er fyrir hendi í berginu (þurrgefusvæði). Fram að þeim tíma höfðu menn einungis rekist á háhitasvæði á Íslandi þar sem jarðhitavökvinn var heitt vatn og þess vegna drógu menn þá ályktun að öll háhitasvæði á Íslandi væru vatnssvæði. Hönnunarforsendur Kröfluvirkjunar voru því þær að Kröflusvæðið væri vatnssvæði.

## Sjóðandi jarðhitakerfi

Þegar farið var að gera nákvæmar mælingar á rennsli og varmainnihaldi úr holum í Kröflu komu fram mæliniðurstöður sem voru ekki í samræmi við fyrri reynslu frá öðrum háhitasvæðum landsins. Þetta voru óvæntar niðurstöður fyrir jarðhitasérfræðingana og var ekki einfalt að finna skýringar á þessu. Öll mælitæki voru vandlega yfirfarin, mælingar

endurteknað og nýjar mæliaðferðir teknar í notkun. Niðurstaðan varð hins vegar alltaf sú sama, að jarðhitavökvinn sem streymdi inn í borholurnar við Kröflu væri ekki í hreinum vatnsfasa.

Til að fá botn í mæliniðurstöður á Kröflusvæðinu reyndist því nauðsynlegt að gera ráð fyrir að vökvinn í berginu væri sambland af vatni og gufu. Slík jarðhitakerfi hafa verið nefnd sjóðandi kerfi eða tveggja fasa jarðhitakerfi. Þetta var auðvitað óvænt niðurstaða því verið var að halda því fram að jarðhitakerfið í Kröflu væri öðru vísi en öll önnur kerfi í heiminum. Á sama tíma og þetta fór fram í Kröflu voru Íslendingar að rannsaka jarðhitakerfið í Olkaria í Kenya og niðurstöður þaðan voru á svipuðum nótum og fengist hafði í Kröflu. Þetta samræmi styrkti jarðhitasérfræðingana í þeirri skoðun að jarðhitakerfið í Kröflu væri sjóðandi jarðhitakerfi.

Auk þess að jarðhitakerfið í Kröflu væri sjóðandi var líka nauðsynlegt að gera ráð fyrir að jarðhitinn í Kröflu væri á tveim hæðum, efra kerfi og neðra kerfi. Það sem mönnum fannst erfiðast við þá mynd af jarðhitinum var að efra kerfið er vatnskerfi um 210°C heitt en neðra kerfið var sjóðandi og hiti í því kerfi hærrí en 300°C. Þar sem þessi tvö kerfi eru til staðar er ekki samgangur á milli kerfanna, en annars staðar (Hveragil) er samgangur frá neðra kerfinu til yfirborðs. Seinna kom svo í ljós að austan við Hveragil er sjóðandi kerfi frá yfirborði.

## Óvæntar niðurstöður

Niðurstöður jarðhitarannsóknanna voru óvæntar að því marki að þær gáfu aðra mynd af jarðhitakerfinu heldur en gert var ráð fyrir þegar ákvörðun um virkjun var tekin. Vélbúnaður virkjunarinnar var t.d. hannaður fyrir gufu sem fengist frá 270°C vatnskerfi, en reyndin varð önnur. Í stað þess að hlutfall á milli háþrýstigufu og lágþrýstigufu passaði fyrir vélar virkjunarinnar þurfti að blanda saman rennsli frá efrakerfisholum og neðra-kerfisholum til þess að fá rétt gufuhlutfall inn á vélarnar. Þetta er mjög viðráðanlegt vandamál en gerir reksturinn svolítið flóknari en ella.

Í Kröflu var aukning þekkingar á háhita-jarðhita mjög hröð fyrsta áratuginn. Kom það til af því að markvisst var unnið að því að afla þekkingar um jarðhitann meðan á borun stóð. Teknar voru upp nýjar mæliaðferðir og tíðni mælinga aukin svo að jafnvel bormönnum þótti stundum nóg um. Árangurinn af starfseminni var hins vegar svo góður að þetta verklag hefur haldist við allar háhitaboranir síðan. Bormenn lærðu líka fljótt að nýta sér fengnar upplýsingar við borverkið og geta nú varla án mælingamannanna verið.

## Mengun jarðhitavökva af kvikugösum

Alvarlegustu áhrif eldsumbrotanna í Kröflu voru þau að gastegundir frá kvikunni áttu greiðan aðgang inn í jarðhitakerfið og ollu mikilli breytingu á efnasamsetningu jarðhitavökvans. Styrkur koldioxids ( $\text{CO}_2$ ) jókst t.d. hundraðfalt og vökvinn varð sumstaðar mjög súr ( $\text{pH} = 1,6$ ). Þessi súri vökvi gat leyst upp óvanalega mikið magn af málmum (sérstaklega járn) úr berginu, en mikill styrkur málmjóna í jarðhitavökvanum varð síðan til þess að miklar útfellingar urðu þegar vökvinn kom inn í borholur og byrjaði að sjóða þar.

Í aflmiklum holum var útfellingahraði meiri en í holum með minna rennsli. Hóla 10 í Vítismó var mjög gjöful, en hún stíflaðist tvisvar af útfellingum á aðeins þrem vikum. Reynt var að finna leiðir til að koma í veg fyrir eða minnka þessar útfellingar, en það gekk ekki. Niðurstaðan var því sú að sá hluti jarðhitakerfisins sem var mengaður með kvikugösum væri ekki vinnsluhæfur. Þetta var alvarleg uppá-koma því aflmestu holurnar fram að þessu voru einmitt þær holur þar sem kvikugasanna gætti mest. Í þeirri stöðu voru einungis tveir kostir, að hætta við virkjunina eða finna önnur vinnslusvæði þar sem kvikugasa gætti lítið sem ekki.

Jarðhitasvæðið í Kröflu er stórt að flatarmáli, um 80 km<sup>2</sup> og þess vegna var talið mögulegt að hægt væri að finna staði á jarðhitasvæðinu þar sem kvikugasa gætti minna en í Vítismó. Könnun á gasi í gufuaugum benti til að suðurhlíðar Kröflu og Hvíthólar væru heppilegir borstaðir. Í suðurhlíðum Kröflu reyndist vökvinn vera vel vinnsluhæfur og rennsli úr holum mjög viðunandi og við Hvíthól voru vinnslueiginleikar vökvans ágætir en vinnslusvæðið þar reyndist tiltölulega lítið. Með þessum borunum í Suðurhlíðum og við



Jarðhitasvæði við Kröflu. Ljósmynd: Benedikt Steingrímsson.

Hvíthól tókst hins vegar að koma virkjuninni í 30 MW rekstur. Það má því segja að menn hafi fundið leiðir til að reka jarðgufuvirkjun á virku eldfjalli þó svo að eldvirknin hafi vissulega verið til trafala. Tæknilega séð varð mjög mikill árangur af virkjunarframkvæmdum við Kröflu, en fjármál framkvæmdanna og það pólitíska moldviðri sem þyrlað var upp, olli því að þjóðin var ekki tilbúin að nýta fengna vitneskju fyrr en löngu síðar.

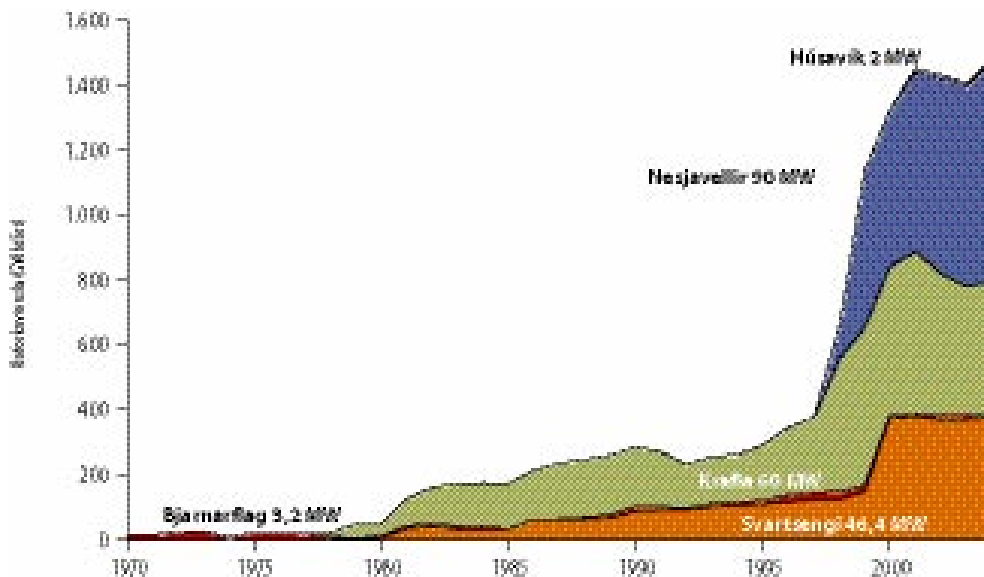
## Áhrif Kröflu

Kröfluæfintýrið hafði mikil áhrif á íslenskt þjóðfélag. Málið varð hatrammt pólitískt hitamál og í flestum tilvikum var öll umræða um virkjun í Kröflu einungis gerð á pólitískum forsendum. Kvað svo rammt að þessu að oft var erfitt að greina pólitískar skoðanir frá

sérfræðilegum staðreyndum. Þessir erfiðleikar við að greina á milli faglegra og pólitískra sjónarmiða hafa orðið til þess að fram að þessu hefur ekki verið gerð hrein fagleg úttekt á virkjunarframkvæmdum við Kröflu. Vonandi getur ný kynslóð horft á Kröfluæfintýrið í sögulegu ljósi og greint á milli faglegra og pólitískra sjónarmiða í framvindu málsins.

Fá verkefni hafa orðið jafn mikil pólitísk hitamál og virkjun Kröflu.

Ekki er hægt að segja að virkjun Kröflu hafi almennt styrkt trúna á notkun jarðhita til raforkuvinnslu hér á landi. Þvert á móti var Krafla oft nefnd sem víti til varnaðar um það hvað jarðhitinn á Íslandi væri ómögulegur til raforkuvinnslu. Þessi umræða var auðvitað framhald af pólitísku umræðunni um Kröflu og var þess varla að vænta að sú umræða færi



Raforkuvinnsla úr jarðhita.

fram á mjög faglegum grunni. Niðurstaðan varð því einfaldlega sú að almennt var farið að ganga út frá því að einu virkjunarkostir sem huga þyrfti að á landinu væru virkjun vatnsafls. Menn viðurkenndu að vísu að þegar búið væri að virkja alla hagkvæma vatnsaflskosti á landinu kæmi líklega að því að skoða virkjun jarðhita til raforkuvinnslu. Um nokkurt skeið voru jarðhitavirkjanir því ekki inn í myndinni í umræðunni um nýja virkjunarkosti á Íslandi.

## Tíundi áratugurinn

Annarstaðar en á Íslandi var virkjun jarðhita til raforkuvinnslu hins vegar talinn hagkvæmur og umhverfisvænn kostur. Það var því dálítið einkennilegt að jarðhitapjóðin á Íslandi skyldi vera með aðra skoðun á þessu máli en alþjóðasamfélagið. Fróðlegt var því að skoða af hverju Íslendingar töldu jarðhitann vera svo slæman kost sem raun bar vitni. Þessi athugun leiddi fljótlega í ljós að við mat á kostnaði við

jarðhitavirkjanir var eingöngu notast við aðferðafræði sem þróaðar höfðu verið á Íslandi fyrir vatnsaflsvirkjanir og að þessar aðferðir hentuðu illa við að meta kostnað við jarðhitavirkjanir. Sýna mátti fram á að kostnaður við jarðhitavirkjanir væri mun lægri en almennt hafði verið talið og að hagkvæmni jarðhitavirkjana á Íslandi væri fyllilega sambærilegur við vatnsaflsvirkjanir. Í byrjun þótti þetta ekki góð latína en eftir að samantekt um málið var birt í Tímariti VFÍ (Valgarður Stefánsson, 1995) endurskoðuðu sum orkufyrirtæki landsins afstöðu sína til jarðhitavirkjana. Á seinni hluta tíunda áratugsins varð svo hlutfallslega mjög mikil aukning á vinnslu raforku úr jarðhita eins og sjá má á myndinni hér að ofan.

## Staðan í byrjun nýrrar aldar

Um það bil þrjú áratugir liðu frá því að ákvörðun um virkjun í Kröflu var tekin og þar til Íslendingar sannfærðust um kosti þess að



*Kröfluvirkjun. Ljósmynd: Benedikt Steingrímsson.*

virkJa háhita til raforkuvinnslu. Allir hlutir hafa sinn tíma, og þegar menn höfðu jafnað sig á þeirri pólitísku hræðslu sem Kröfluæfintýrið olli gekk mjög vel að virkja háhitann til raforkuvinnslu. Kostnaður við jarðhita-virkjanir reyndist vera nokkru hagstæðari en fyrir vatnsaflsvirkjanir og jarðhitavirkjanir á Íslandi eru með hagstæðustu jarðhitavirkjunum í heimi (Valgarður Stefánsson, 2002). Ísland hefur þannig náð þeirri eftirsóknarverðu stöðu í byrjun nýrrar aldar að vera í fararbroddi á öllum sviðum jarðhitánýtingar.

## Heimildir

Valgarður Stefánsson, 1995: *Jarðhiti til raforkuvinnslu*. Árbók VFÍ 1993/94, pp. 233–251, VFÍ 1995.

Valgarður Stefánsson 2002: *Investment cost for geothermal power plants*, *Geothermics* 31, pp. 263–272

---

# Jarðfræðikortlagning á Orkustofnun

KRISTJÁN SÆMUNDSSON

## Grunnur lagður

Breskir jarðfræðingar lögðu grunninn að nútíma skilningi á jarðfræðilegri byggingu Íslands á árunum kringum 1960. Sá grundvöllur var fyrst og fremst lagður með rannsóknnum á blágrýtismyndun Austfjarða. Sá sem hér vann þrekvirki hét George Walker (1926–2005). Hann var prófessor í jarðfræði við Lundúnaháskóla og kom hingað nestaður þekkingu á basaltsvæðum Írlands og Suður-eyja. Walker vann að þessum rannsóknnum fyrst einsamall og síðan með stúdentum. Í þrem ritgerðum sem út komu 1957, 1959 og 1961 sýndi hann fram á þrennt: Í basaltstafl- anum mátti aðgreina mismunandi hraunlaga- syrpur og rekja þær langar leiðir. Í honum voru feiknamikil eldfjöll og gangakerfi sem þeim tengdust. Holufyllingar í berginu röð- uðu sér í hæðarbelti sem ekki fylgdu halla berglaganna heldur jarðhitaáhrifum á seinni stigum upphleðslunnar. Kortlagningarvinna Walkers gerði mögulegt að tengja saman úr bútum samfelld berglagasnið austan frá Gerpi vestur í Fljótsdal, segulmæla það lag fyrir lag og koma því á fastan grunn í tíma með aldurs- greiningum. Að því verki kom tugur jarð- og eðlisfræðinga af ýmsu þjóðerni, og kom grein

þeirra út 1967. Basaltmyndunin á Austurlandi er fremur regluleg. Berglagahalli í henni er vestlægur utan frá sjó til innstu dala. Eina flækjan sem sneiða þurfti hjá þegar sniðbú- arnir voru tengdir saman voru megineldstöð- ar í Breiðdal og Þingmúla sem og hallaóregla innarlega í Fljótsdal.

Grunnurinn að skilningi jarðfræðinga á jarð- fræðilegri byggingu Íslands var lagður með rannsóknnum á blágrýtismyndun Austfjarða.

## Jarðfræðirannsóknir hafnar til vegs á Orkustofnun

Íslenskir jarðfræðingar tóku misjafnlega fljótt við sér þegar nýja jarðfræðin kom til sögunnar með plötukeningunni. Meðal þess sem hald- ið var fram sem mótbáru gegn því að Ísland væri myndað í gliðnunarbelti voru hallaóregl- ur í basaltstaflanum vestanlands, en þeim var fyrst lýst sem fellingum. Skýringin á þeim kom fram 1967, en hún var sú að rekbeltin hefðu flust til og samhverfur á basaltsvæðun- um sýndu hvar þau hefði verið. Þar heyrðist fyrst frá Orkustofnun um einn af megindrátt- um í jarðfræði landsins. Bandarískur jarðeðl-





*Barðsnæs og Norðfjarðarnípa. Í Barðsnæsi er líparít í elstu megineldstöð Austfjarða. Í Norðfjarðarnípu og inn af henni eru lítið yngri basalhraunlög með vestlægum halla. Ljósmynd: Oddur Sigurðsson.*

isfræðingur kom þetta sama ár til Íslands og dvaldi hér sumarlengt við rannsóknir í samvinnu við Orkustofnun. Hann birti síðan grein um „nýju jarðfræðina og Ísland“ með áherslu á brotakerfi landsins. Í þeirri grein komu fram þverbrotabeltin tvö sem kennd eru við Tjörnes og Suðurland.

Næstu ár var mikið unnið á Orkustofnun að jarðfræðikortlagningu basaltsvæðanna sem og virku eldgosabeltanna. Jarðfræðistúdentar í doktorsnámi við erlenda háskóla áttu þá bakhjarl í Orkustofnun sem studdi útirannsóknir þeirra á sumrum. Þannig urðu til 10 doktorsritgerðir nema, sem síðan urðu starfsmenn stofnunarinnar. Verkefni þessi tóku fyrst og fremst á megineldstöðvum, bæði virkum og útdauðum, sem og kulnuðum og lifandi háhita-kerfum þeirra.

Á þessum árum réðst Orkustofnun í samvinnu við Raunvísindastofnun háskólans og erlenda háskóla í rannsókn á basaltsvæðum Borgarfjarðar, Vestfjarða og Miðnorðurlands. Berglög voru athuguð lag fyrir lag, segulmæld og aldursgreiningar gerðar á tugum hraunlaga. Þannig fékkst allskýr mynd af uppbyggingu tertíera hraunlagastafans vestan virka gosbeltisins. Allbreitt bil varð eftir í Húnavatnssýslum, í fari útdauðs gosbeltis þar sem berglög Vestfjarða og Miðnorðurlands runnu upp fyrir 16–7 milljón árum. Borgarfjarðarsniðið spannaði hins vegar aldursbilið frá 6 og upp í 2 milljónir ára, en berglög þess eru upprunnin í því sama gosbelti sem enn er virkt suðvestur frá Langjökli. Rannsóknir þessar renndu stoðum undir og tímasettu mikla austurfærslu á rekkeltum landsins sem áður hafði

verið bent á út frá berglagahalla fyrst og fremst auk fárra aldursgreininga.

## Brotamunstur og jarðhiti

Náin tengsl lághitasvæðanna við brotakerfi landsins urðu ljós á þessum árum. Á Suðurlandi voru þau auðsæjust, þar sem voru jarðskjálftasprungurnar, en svo til allur jarðhiti þar kemur upp á þeim og tugir borholna hafa verið boraðar með góðum árangri niður í þær eftir heitu vatni. Sömu tengsl komu í ljós á Norðurlandi en þar vill svo til að fornir berggangar hafa sömu stefnu og sprungur í virka brotakerfinu og um þá brestur skorpan og verður lek. Í Borgarfirði sýndi sig að jarðhitinn með hinum öflugum hverasvæðum tengdist virku brotakerfi með ungum misgengjum sem liggja frá Langjökli vestur á Snæfellsnes.

Jarðhiti í Borgarfirði tengist virku brotakerfi með ungum misgengjum sem liggja frá Langjökli vestur á Snæfellsnes. Hitaveita Stykkishólms fær vatn úr sprungu innan þess kerfis. Hún liggur NV-SA.

Rannsóknir Orkustofnunar og fyrirrennara hennar á háhitasvæðum landsins beindust framan af einkum að Hengilssvæðinu, Krýsuvík og Námafjalli. Það fyrst nefnda varð á vissan hátt grunnur undir kenningasmíð um háhitasvæðin og eðli þeirra. Rannsóknir eflust með áformum um nýtingu, einkum eftir að ríki, sveitar- og bæjarfélög tóku á málum. Um og fyrir 1970 var þannig lagður grundvöllur að virkjun háhita á Reykjanesi, í Svartsengi, á Nesjavöllum og í Bjarnarflagi. Þá var komið að Kröflusvæðinu og hafist handa um rannsóknir og boranir þar á árunum 1970–1974. Ónógar rannsóknarboranir og eldgos með brotahreyfingum sem þar urðu í upphafi fram-



*Rannsóknir á Hengilssvæðinu lögðu grunninn að kenningasmíð um háhitasvæðin og eðli þeirra. Horft yfir Þingvallavatn í átt að Henglinum. Ljósmynd: Oddur Sigurðsson.*

kvæmda ollu töfum, og uppsettu afli náði virkjunin ekki fyrr en tveim áratugum eftir að bygging hennar hófst. Kröflueldar opnuðu augu manna fyrir samspili eldvirkni og gliðunar. Eldstöðvakerfi gosbeltanna, sem fyrst voru dregin skýrt fram í grein sem kom frá Orkustofnun 1974, sönnuðu sig áþreifanlega ári síðar með kvikuhlaupum undan rótum Kröflu-eldstöðvarinnar út og suður í sprungusveiminn sem henni tengist. Má segja að það hafi verið vonum seinna, því að þess konar tengsl voru þegar vel þekkt frá Hawaii.

Á Norðurlandi og Reykjaneskaga liggja sprungusveimar virku megineldstöðvanna skáhallt á gosbeltin og ná út fyrir þau til endanna. Þar brjóta þeir upp berglagastafla sem er nokkrum milljónum ára eldri en skorpan í ási rekbeltisins þar sem eldvirknin er mest. Þannig verða til lághitasvæði, sem sum hver eru meðal hinna gjöfulustu á landinu, svo sem jarðhitasvæðin í Mosfellssveit og Reykjavík sem eru í Krýsuvíkursveimnum og jarðhitasvæðin í austur-sveitum S.-Þingeyjarsýslu sem eru í Þeistareykjasveimnum. Líklega er jarðhitasvæðið á Jökulsársöndum í Óxarfirði af sama toga nyrst í Kröflusveimnum. Á sama hátt er jarð-





*Stærsti móbergs-straumur sem vitað er um er í Skaftártungu. Hann er upprunninn í Svartahnúksfjöllum og nær fram í Hrifunes. Myndin er úr jarðfræðikorti Guðmundar Kjartanssonar frá 1962. Skyldi hann hafa séð hvers konar myndun þetta er? Öroar og útlínur nyrst eru höfundar.*

hitinn í Skagafirði tengdur sprungusveimi sem liggur frá Hofsjökli.

Kröfluvirkjun er á virku eldfjalli eins og flestir vita og svo er um allar háhitavirkjanir landsins. Það hefur sýnt sig að ekki dugar að halda sig til hliðar við virkustu hluta þeirra, miklu fremur enda menn í því að snúa sér þangað og bora beint í eða inn að ungum gossprungum. Þetta var gert í Kröflu þar sem er Hveragils-sprungan. Svipað er upp á teningnum á Nesjavöllum og á Hellisheiði þar sem er yngsta gosreinin. Merki eru um að líkt hátti til á Reykjanesi, í Trölladyngju og Eldvörpum sem eru vestast á Svartsengis-svæðinu. Þegar staðið er frammi fyrir þessum nánu tengslum blasir við að þekka þarf gos-sögu eldstöðvakerfanna sem best. Þar hafa

öskulagarannsóknir opnað leið til tímasetningar sem og aldursgreiningar á gróðurleifum ef heppnin er með. Mjög athyglisverð mynd er smám saman að koma í ljós um Reykjanes-skagann, og raunar vesturgosbeltið allt, sem bendir til að eldvirknin sé lotubundin. Svipað er upp á teningnum í Suðaustur-gosbeltinu, en langt er í land að nokkurt munstur sjáist í gangi eldvirkinnar í Norður-gosbeltinu.

## Sérstaða móbergs í íslenskri jarðfræði

Hér skal vikið að einum þætti jarðfræðikortlagningar þar sem er móbergið, en það er sú bergtegund sem er sérkennilegust fyrir Ísland. Svo mikið er um það í eldgosabeltunum að heil jarðmyndun var nefnd eftir því, svarandi í tíma til síðasta hluta ísaldar. Móberg finnst einnig í lögum og þykkildum langt niðri í berglagastaflanum næst jöðrum gosbeltanna. Aðalefnið í móberginu er gler, myndað við hraða kólnun hraunkviku, sem venjulega er basalt að samsetningu. Framan af 20. öld stóðu deilur um myndun móbergs og móbergsfjalla. Þar gengu fram menn sem ekki rýndu í bergið sjálft, heldur fabúleruðu kringum öfgakennningar. Helgi Péturss, jarðfræðingur greindi á milli gosmyndana og setmyndana í móberginu. Hann fann jökulruðning innan um móbergið og sá að það var ísaldarmyndun. Guðmundur Kjartansson birti stapakenningu sína um myndun móbergsfjalla í bók um jarðfræði Árnassýslu árið 1943. Inntak hennar er að móberg hlaðist upp við gos undir jökli en hraun renni yfir þegar móbergshraukurinn nær upp úr honum. Flestir féllust á þetta og rannsóknir hafa sýnt að hún er í meginatriðum rétt.

Skýring Guðmundar er þó aðeins rammi utan um flóknara ferli sem lítur til mismunandi berggerða í móberginu, frá bólstrabergi

um þursaberg í túff og loks er skálögótt móberg sem myndast þegar hraun rennur af kolli móbergshrauksins aftur ofan í jökullónið sem gosið bræddi í ísinn. Í stöpunum ber mest á skálögóttu móbergi. Hinar berggerðirnar einkenna frekar móbergshryggina þar sem gaus á sprungu og önnur þau móbergsfjöll þar sem hraun náði ekki að renna. Þar er bólstrabergið neðst, oftast í þykkum lögum með þursabergi ofan á og innan um, en þykkir stabbar af móbergstúffi eru efst og utan í hlíðum hryggjanna. Oft er kolhart, móbergskent jökulberg utan á hlíðum móbergsfjalla, einkum hinna eldri, og hefur smurst út á landið í kring. Guðmundur Kjartansson kallaði þess háttar myndanir ruðningsmóberg.

Móberg táknar samkvæmt málvenju allar þessar berggerðir nema bólstrabergið, enda þótt nátengt sé, en það er líka notað í þrengri merkingu um túffið eitt og sér. Þursaberg kemur fyrst fyrir hjá Þorvaldi Thoroddsen (raunar skrifað þussaberg). Algengast er nú að kalla það brotaberg, og aðeins ef steinar í því eru ónúnir, en svo er alla jafna í móbergsfjöllunum sjálfum. Glerið í móberginu ummyndast og tekur í sig vatn og verður þannig að hörðu bergi. Það ferli gengur því hraðar sem hiti er hærri eins og rannsóknir á túffinu í Surtsey sýna best.

Breskir jarðfræðingar sem hér stunduðu rannsóknir á árunum kringum 1960 undir forystu og leiðsögn George Walkers komu hér að svo til óplægðum akri hvað varðaði nákvæmar rannsóknir á móbergi. Ekki var farið að greina það að ráði í mismunandi berggerðir og leita skýringa á þeim fyrir en þá. Þar var fyrstur að verki breskur jarðfræðinemi og viðfangsefnið var Laugarvatnsfjöllin. Á þeim árum var bent á að meta mætti þykkt ísaldarjökuls á Norðurlandi út frá hæð móbergsfjalla, en þau eru því hærri sem lengra kemur inn í landið. Þetta sama blasir við ef horft er eftir Reykjanesskag-

anum. Á 7. áratugnum var einnig birt ritgerð um sérstæða móbergsmýndun austur í Lóni. Þar er tuga kílómetra langur móbergsstraumur, Dalsheiði, runninn eftir dalbotni undir jökli. Einnig þetta var uppgötvun breskra jarðfræðinga. Síðar hafa mörg dæmi fundist um slíkt. Stærsta einstök goseining sem vitað er um hérlendis er þannig mynduð, en það er Hrífunesheiði og heiðaraninn þar inn af allt að Svartahnúksfjöllum inn við Torfajökul. Rúmmál þeirrar myndunar er um 35 km<sup>3</sup> sem er þrefalt rúmmál Skaftáreldahrauns.

## Móbergsrannsóknir á Orkustofnun

Á 7. áratugnum var ráðist í að kortleggja móbergssvæði og greina móbergið sundur í mismunandi goseiningar líkt og hraun á hraunsvæðum. Þar er komið að fyrstu rannsóknum Orkustofnunar eða fyrirrennara hennar á móbergi. Þetta var á Hengillsvæðinu, en þar liggja móbergseiningarnar hver ofan á og utan í annarri. Þar var á þeim árum unnið að borunum eftir gufu þótt ekki yrði af virkjun. Um líkt leyti hófust rannsóknir á vegum Orkustofnunar á vatnasvæði Þjórsár og síðar Tungnár vegna vatnsaflsvirkjana þar. Rannsóknir á móbergi og mismunandi eiginleikum þess með tilliti til styrkleika og lektar skipta þar miklu máli, bæði á áhrifasvæði miðlunarlóna og á mannvirkjasvæðunum sjálfum. Síðan rannsóknir á þessu svæði hófust má heita að allt móberg á landsvæðinu frá Vatnajökli suðvestur fyrir Torfajökul hafi verið kortlagt jarðfræðilega og flokkað í goseiningar eftir aldri og bergfræðilegri samsetningu. Á þessu svæði er mikið um bólstraberg. Þar kom í ljós að sumt af því myndaði þykk lög, hafði greinilega runnið út en ekki hrúgast upp yfir gosrás. Síðar hafa slíkar bólstrabreiður, sem nú



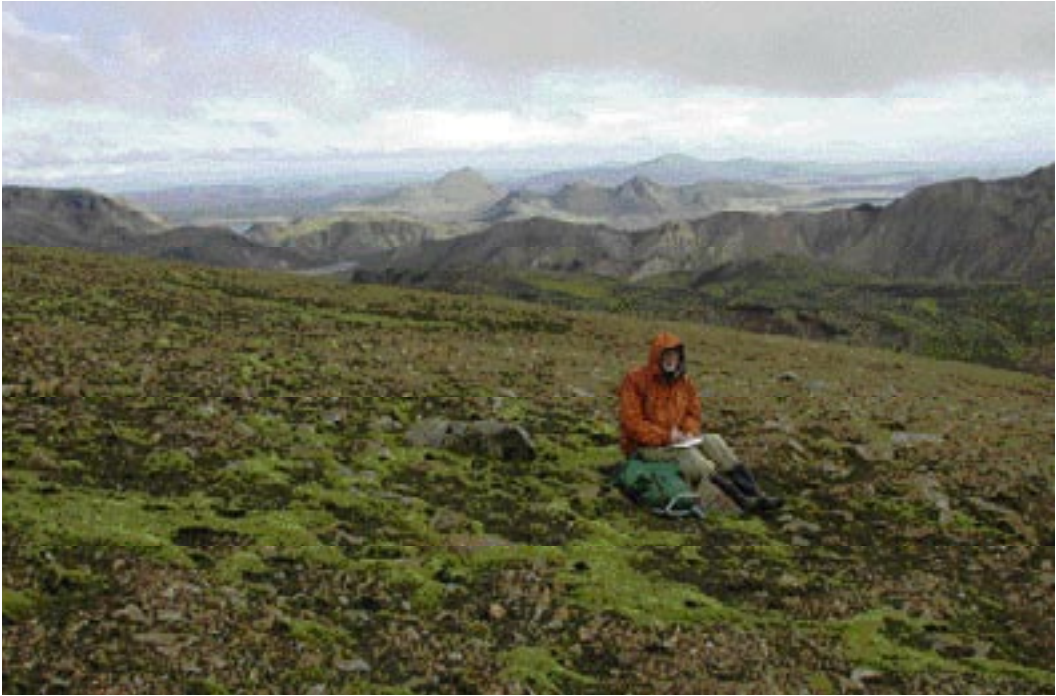
*Elsa Vilmondardóttir sem lengi var starfsmaður Orkustofnunar, var fyrsta íslenska konan sem lauk jarðfræðiprófi. Hún var ein þeirra sem lagði grunninn að jarðfræðirannsóknum stofnunarinnar. Syðri-Háganga í baksýn. Ljósmynd: Ingibjörg Kaldal.*

eru kallaðar, fundist víðar, en einkennissvæði þeirra er samt á Tungnáröræfum.

Svæðislæg kortlagning Orkustofnunar á móbergi hefur fyrst og fremst beinst að vænlegum háhitasvæðum til virkjunar og vatnasviðum sem ná til eldgosabeltanna. Meðal hinna fyrrnefndu er Reykjaneskaginn, raunar þekktari fyrir hraunbreiðurnar, og Torfajökulssvæðið þar sem líparít er aðalbergtegundin. Þar er þó ekki allt sem sýnist því að nokkuð er þar einnig um móberg og mikið af líparítinu hefur myndast við gos í eða undir jökli. Það afbrigði líparíts sem þannig verður til er gjarnan nefnt súrt móberg (líparít er kísilsýruríkt og því kallað súrt). Rannsóknir jarðfræðinga á Orkustofnun um og eftir 1970 leiddu tilvist slíks bergs í ljós, þar sem voru líparítfjöll í eldgosabeltunum, svo sem í Kerlingarfjöllum,

á Mývatnssvæðinu og í Prestahnúk. Perlusteinninn þar hefur þannig myndast við hraða kólnun líparítkviku í snertingu við vatn. Fyrsta lýsing á líparítstapa er frá þessum árum, en sá er í Kerlingarfjöllum. Heitið móberg á hér samt illa við því að það vísar til hins brúna litar þess. Útlenda nafnið á móbergi (hyaloklastít) er hins vegar vel valið, en það merkir glerbrotaberg.

Við boranir á háhitasvæðum hefur komið í ljós að berglög undir þeim eru að stórum hluta úr móbergi. Við ummyndun af völdum vatns og hita þéttist móbergið þegar glerið í því tekur upp vatn og kristallast, fyrst í zeólíta og leirsteindir og við hærri hita í aðrar steindir. Á Orkustofnun hefur verið lögð áhersla á að rannsaka eiginleika móbergs á mismunandi stigi ummyndunar. Það er vatnsríkt og menn



*Kaflahöfundur við jarðfræðirannsóknir á Torfajökulssvæðinu. Ljósmynd: Guðmundur Ómar Friðleifsson.*

vilja þekkja hlut bundins vatns og hins sem er óbundið í holum og glufum og gæti soðið við þrýstingslækkun í háhitakerfunum og nýst þannig í vinnslunni. Til slíkra rannsókna hefur sýnum verið safnað bæði úr fersku móbergi og ummynduðu, en það er sótt í löngu kulnuð háhitakerfi sem roföflin hafa gert aðgengileg. Þar er móbergið helst að finna í fornum sigkötum (öskjum), en einnig í móbergi sem myndaðist á fornum jökulskeiðum, en fyrstu merki þeirra hér á landi er að finna á Suðausturlandi, í berglögum sem eru um 5 milljón ára.

Móberg myndast alls staðar þar sem gýs undir jökli og í tiltölulega grunnu vatni eða sjó. Það er því að finna víða um heim, en hliðstæður við móbergsfjöll okkar eru helst nefndar frá Bresku Kólumbíu í Kanada og Suðurskautslandinu. Í náttúruverndarlögum frá 1999 var sett vernd á hraun og gosstöðvar,

en móbergsfjalla getið sem merkra fyrirbæra. Kannski hefði átt að snúa þessu við svo sérkennileg sem móbergsfjöllin eru og einkenniandi í landslagi eldgosabeltanna.

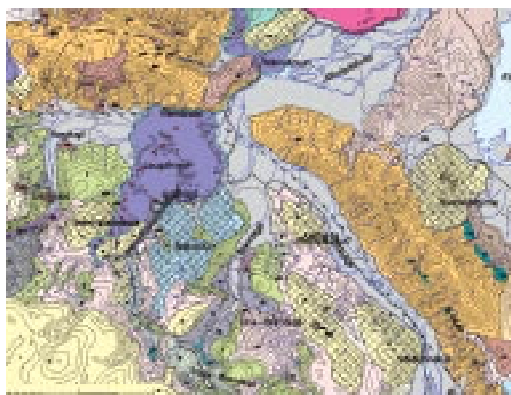
## Útgáfa og framlag til jarðfræðikorta

Jarðfræðikort og vatnafarskort sem gefin hafa verið út á síðustu áratugum eru að stórum hluta byggð á rannsóknum sem unnar voru á Orkustofnun. Við vinnslu kortanna sér stað þeirrar vinnu sem lögð hefur verið í rannsóknir vegna virkjunar vatnsafls jafnt sem jarðhita, en kortlagning í þeim hagnýta tilgangi tekur á mörgum jarðfræðilegum þáttum og nær yfir víðlend svæði. Hún nýtist því vel til framsetningar á yfirlitskortum. Auk þeirra hefur Orkustofnun staðið að útgáfu jarðfræðikorta í





Frá Landmannalaugum, Laugahraun í forgrunni. Öskjurimi utan í Suðurnám og Háöldu efst til hægri, sést greinilega. Ljósmynd: Oddur Sigurðsson.



Hluti af jarðfræðikorti Orkustofnunar af Torfajökulssvæðinu. Fjólublái liturinn sýnir Laugahraunið sem sést svo vel á ljósmyndinni.

stórum mælikvarða. Þar ber hæst útgáfu jarðfræðikorts af Höfuðborgarsvæðinu þar sem berggrunni, lausum jarðlögum og vatnafari eru gerð skil á sérstökum kortblöðum. Auk útgefingna korta hafa orðið til á seinni árum jarðfræðikort af stórum landsvæðum sem eru aðgengileg í tölvu, og prenta má út eftir þörfum og breyta og bæta eftir því sem þekking vex. Smám saman er nú unnið að því að tölvuvinna handrituð jarðfræðikort starfsmanna frá fyrri árum sem þannig verða öðrum aðgengileg.

---

# Landgrunn og olíuleit

SVEINBJÖRN BJÖRNSSON OG STEINAR ÞÓR GUÐLAUGSSON

Orkustofnun hefur starfað að málefnum tengdum hafsbotninum umhverfis Ísland allt frá árinu 1970.

Starfið hefur verið samofið framþróun í jarðvísindum og hafréttarmálum og olíuleit í ljósi möguleika á olíuvinnslu á Jan Mayen-svæðinu, Hatton-Rockall-svæðinu og á landgrunni Norðurlands.

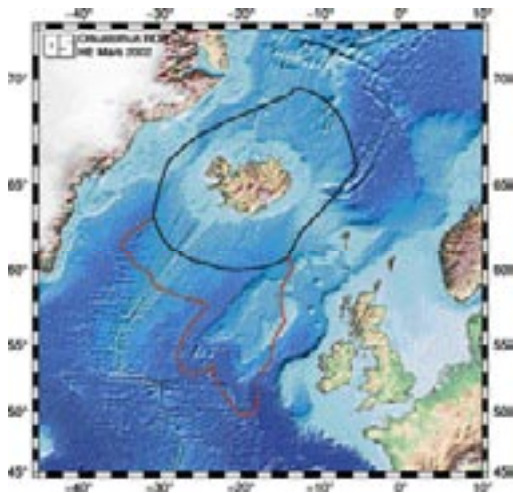
Lengst af hafa störf stofnunarinnar á þessu sviði verið nátengd störfum ýmissa landgrunnsnefnda. Þessar nefndir hafa verið stjórnvöldum til ráðgjafar um stefnumótun í landgrunnsmálum, gert tillögur um lagafrumvörp og reglugerðir, fylgst með landgrunnsrannsóknum erlendra aðila við Ísland, annast samskipti við erlenda rannsóknaraðila og fyrirtæki í olíuleit, tekið þátt í samstarfi við opinbera aðila í nágrannaríkjunum um landgrunnsrannsóknir og viðræðum um landgrunnsréttindi. Landgrunnsnefndirnar hafa gert tillögur um hvaða rannsóknaverkefnum eða öðrum verkefnum bæri að sinna og fjármagna af ríkisfé. Það hefur komið í hlut Orkustofnunar að vinna mörg þessara verkefna eða hafa umsjón með þeim.

## Hafréttarmál

Orkustofnun kom að hafréttarmálum á árunum 1973 til 1982 er hafréttarsáttmálinn var samþykktur. Samningurinn var undirritaður af 159 ríkjum þ.m.t. Íslandi 10. desember 1982 eftir 9 ára samningaviðræður. Með honum voru settar eða staðfestar reglur um öll not hafsins, þ.m.t. af hafsbotninum og botnlögum undir þeim. Ísland fullgilti samninginn 21. júní 1985, fyrst vestrænna ríkja. Orkustofnun veitti sendinefnd Íslands á hafréttarráðstefnunni margvíslega ráðgjöf.

Orkustofnun gaf einnig út skýrslu um hafsbotninn umhverfis Ísland árið 1980. Skýrslan fjallaði um jarðfræði hafsbotnsins umhverfis Ísland, frá eyggi Jan Mayen í norðri suður á Reykjanes hrygg og Rockall-banka. Dregnar voru saman helstu niðurstöður nýrri rannsókna á setlögum undir hafsbotni, og hvort ætla megi að þau geymi jarðolíu í nokkrum mæli

Landgrunn Íslands er jarðfræðilega afar ólíkt olíusvæðum við nálæg lönd, svo sem í Norðursjó eða hugsanlegum fundarstöðum



Landgrunns svæðið sem Íslendingar gerðu tilkall til árið 1985. Heimild: Orkustofnun.

við Færeyjar. Á landgrunni Norðurlands hafa mælingar leitt í ljós allmikið setlagasvæði, allt að 4 km að þykkt. Svæðið fer að mestu saman við Tjörneshvönn, og orsakatengsl eru milli brotavirkinnar og setsöfnunar. Almenn skilyrði fyrir myndun olíu og gass eru fyrir hendi í þessum setlögum en óvissa hvort þar sé að finna nægilega þétt þakberg sem olía eða gas gætu hafa safnast undir.

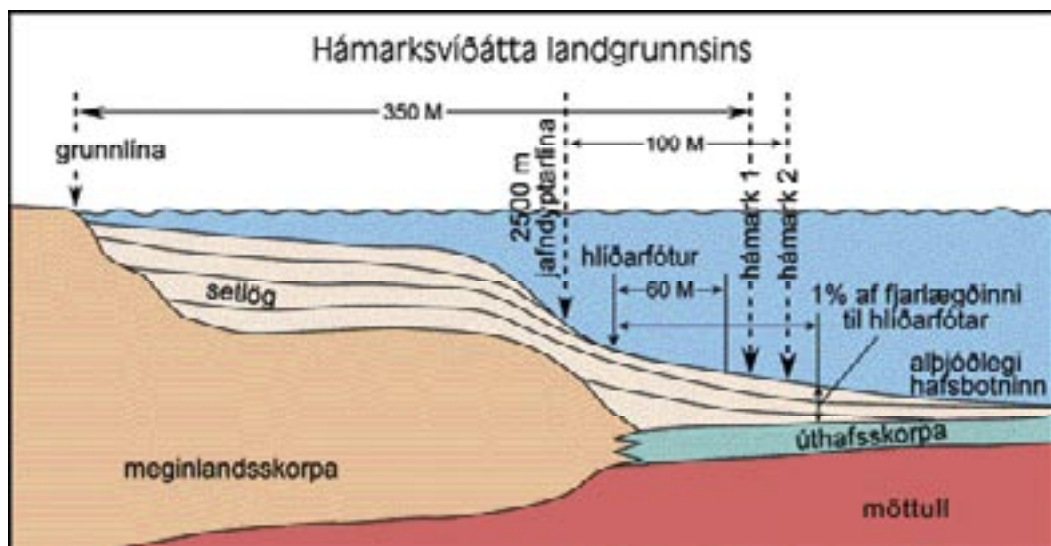
Á Jan Mayen-hrygg er að finna setlög sem mynduðust þegar Grænland og Noregur lágu saman. Þeim svipar að mörgu leyti til þeirra setlaga sem olía er unnin úr við Noregsstrendur. Gosvirkni á Ægishrygg klauf þessi setlög frá Noregi og seinni gosvirkni á Kolbeinseyjarhrygg skildi þau frá Grænlandi. Samkomulag var gert milli Norðmanna og Íslendinga 1981 um rannsókn og nýtingu á þeim auðlindum sem fundist gætu á Jan Mayen-hrygg.

Í þriðja lagi gætu Íslendingar gert kröfu til landgrunns á Hatton-Rockall-svæðinu með vísan til hafréttarsamnings Sameinuðu þjóðanna og skilgreiningar á eðlilegu framhaldi landgrunns út fyrir 200 sjómílur. Þá er byggt á því að fundnar séu rætur landgrunnshlíðar og

dregin lína 60 sjómílum þar fyrir utan. Rannsóknir benda til þess að á Hatton-Rockall-svæðinu sé að finna jarðlög svipaðs eðlis og undir Færeyjum og Bretlandseyjum. Einnig er unnt að gera kröfu á grunni samfelldra setlaga út frá landgrunni ef þykkt þeirra uppfyllir sett skilyrði.

### Landgrunnsnefnd Sameinuðu þjóðanna

Landgrunnsnefnd Sameinuðu þjóðanna getur úrskurðað að lönd sem geta fært rök fyrir máli sínu með þessum hætti fái rétt yfir landgrunni utan 200 sjómílna ef samkomulag er um skiptingu réttarins milli þeirra þjóða sem leggja fram hliðstæð rök fyrir sínum kröfum til sama landsvæðis. Á vegum utanríkisráðuneytisins hófst vinna að undirbúningi greinargerðar til landgrunnsnefndar Sameinuðu þjóðanna árið 2000 en frestur til að leggja hana fram er til ársins 2009. Verkefni stýrir hafréttarnefnd á vegum utanríkisráðuneytisins en Orkustofnun fer með yfirumsjón þeirra rannsókna og undirbúningsvinnu sem þörf er á. Fyrir utan verkþætti sem keyptir eru af erlendum verktökum er vinnan unnin hjá Íslenskum orkurannsóknum sem áður voru Rannsóknasvið Orkustofnunar en eru nú sjálfstæð stofnun. Rannsóknirnar eiga að tryggja að fyrir liggja fullnægjandi upplýsingar um mörk íslenska landgrunnsins utan 200 sjómílna og gengið verður úr skugga um að gögnin séu í samræmi við vísindalegar og tæknilegar kröfur landgrunnsnefndarinnar. Undanfarin ár hafa verið gerðar umfangsmiklar mælingar á landslagi og setlögum hafsbotsins umhverfis Ísland og suður til Hatton-Rockall-svæðisins. Nú er unnið úr þeim gögnum og að fyrstu drögum þeirrar greinargerðar sem Íslendingar hyggjast leggja fyrir landgrunnsnefndina. Jafnframt er haldið áfram viðræðum við Íra, Breta og Færeyinga með það að markmiði að ná samstöðu milli þessara þjóða um óskir til landgrunnsréttar.



Hámarksviðáttá landgrunnsins eins og hún er skilgreind í 76. grein hafréttarsamningsins. Heimild: Orkustofnun.

## Olíuleit

Olíuleit við Ísland hófst fyrir rúmlega 30 árum. Síðla árs 1970 sótti hollenskt fyrirtæki, sem var aðili að Shell-olíuhringnum, um leyfi til að gera mælingar og athuganir á landgrunninu vestur af Íslandi í átt til Grænlands.

Fyrstu vísbendingar um þykk setlög norð-austur af landinu komu frá sovískum leið-öngrum með rannsóknaskipinu Akademik Kurchatov 1973 og 1976. Seinni leiðangurinn mældi svæðið frá landi norður að 68 breiddargráðu og milli 16 og 20 gráðu vestlægrar lengdar. Árið 1978 gerði Western Geophysical Co. hljóðendurvarpsmælingar úti fyrir Norðurlandi. Tilgangur þeirra, sem fyrsta skref í olíuleit á svæðinu, var að kortleggja þykkt setlaga. Mælinurnar voru lagðar í stórum dráttum samkvæmt tillögu frá Western Geophysical en hliðsjón var höfð af upplýsingum sem Orkustofnun hafði aflað með þyngdarmælingum innan ramma rannsóknaráætlunar landgrunnsnefndar Rannsóknaráðs. Mælingar Western Geophysical sýndu

allt að 4000 m þykk setlög í Eyjafjarðarál og á Grímseyjarsundi og að ekki væri hægt að útiloka að þau geymdu olíu eða gas. Nánari athuganir á næstu árum á vegum nefndar iðnaðarráðherra um hagnýtar hafsbotsrannsóknir bentu til þess að setlögin væru einna þykkust úti fyrir mynni Eyjafjarðar en næðu austur á Skjálfandasvæðið, m.a. undir Flatey. Þetta leiddi til þess að boruð var 500 m djúp rannsóknarhola í Flatey 1982 en hún gaf ekki markverðar vísbendingar um olíu eða gas á svæðinu.

Á árunum 1987–1989 efndu Íslendingar, Danir og Færeyingar til mælinga á Hatton-Rockall-svæðinu. Samvinna var við dönsku jarðfræðistofnunina GEUS. Sérfræðingar Orkustofnunar tóku þátt í skipulagningu mælingaleiðangursins, sáu alfarið um tölvuvinnslu mæligagnanna og tóku þátt í túlkun á jarðfræði svæðisins á grundvelli hinna nýju gagna. Skýrslu var skilað 1989 og tók Orkustofnun að sér að varðveita frumgögnin fyrir hönd samstarfsaðilanna.



## Samstarf við Norðmenn

Norðmenn og Íslendingar hófu nána samvinnu um forrannsóknir á olíu- og gasmöguleikum á Jan Mayen-svæðinu árið 1985 í kjölfar Jan Mayen-samkomulagsins frá 1981. Forrannsóknirnar voru ætlaðar sem undanfari olíuleitar á vegum olíufyrirtækja. Orkustofnun var fulltrúi Íslands í samstarfinu en norska Olíustofnunin fulltrúi Noregs. Samstarfið var virkt fram til ársins 1992 þegar forrannsóknunum mátti heita lokið.

Í fyrstu var gerður út sameiginlegur mælingaleiðangur norsku Olíustofnunarinnar og Orkustofnunar á Jan Mayen-svæðið árið 1985. Leiðangurinn var skipulagður í samvinnu beggja stofnana 1983–1984. Mælingarnar voru gerðar með rannsóknaskipinu Malene Østervold frá norska mælingafyrirtækinu GECO. Margrása endurvarp hljóðbylgna frá jarðlögum undir hafsbotni var mælt eftir línunum sem samtals voru 4.200 km að lengd. Tilgangurinn var að öðlast betri innsýn í gerð jarðlaga og jarðsögu svæðisins svo meta mætti hvar best væri að leita olíu síðar. Gert var ráð fyrir því að sjálf olíuleitin, þegar að henni kæmi, yrði fyrst og fremst á vegum fyrirtækja í olíuindnaði.

Að mælingum loknum var tölvuvinnsla gagnanna boðin út og sá norska Olíustofnunin um það, en fulltrúar Orkustofnunar tóku þátt í að meta tilboðin og vinnslu fyrirtækjanna á völdum þrífum. Norska fyrirtækinu GECO var einnig falið að sjá um úrvinnsluna og var hún framkvæmd árið 1986–1987 í Osló. Í árslok 1986 var orðið ljóst að nýju mælingarnar tóku fram öllum fyrri mælingum á svæðinu. Tölvuvinnsla gagnanna lauk síðla sumars 1987. Þau voru þá sett í sölu hjá norsku Olíustofnuninni eins og samkomulagið frá 1981 gerir ráð fyrir og vakin athygli um 50 olíufyrirtækja og ráðgjafarfyrirtækja á því bréflaga.

## Túlkun gagna

Orkustofnun og Olíustofnunin sneru sér næst að jarðfræðitúlkun gagnanna. Niðurstöðurnar voru birtar í sameiginlegri skýrslu stofnananna í byrjun árs 1989. Með henni var lokið afhendingu fullunninna gagna ásamt fyrstu túlkun og mati á niðurstöðum. Skýrslan var þrískipt. Fyrsti hluti fjallaði um jarðfræði svæðisins eins og hún birtist í nýju gögnum og eldri gögnum af svæðinu. Í öðrum hluta var gerð fyrsta tilraun til að meta olíu- og gasmöguleika á svæðinu. Í þriðja hlutanum voru tillögur um framhald rannsókna á svæðinu. Gerðar voru tillögur um þrenns konar verkefni. Í fyrsta lagi að vinna að frekari túlkun á fyrirliggjandi gögnum og gögnum úr nýjum leiðangri sem farinn var 1988. Í öðru lagi að afla frekari jarðeðlisfræðilegra gagna. Þetta mætti net hljóðendurvarpsmælinga, kortleggja hugsanlega gasuppstreymisgíga með botnsjá og gera mælingar á varmastreymi. Í þriðja lagi að rannsaka svæðið með borunum. Álitlegasti staðurinn var talinn vera á meginhryggnum Noregsmegin lögsögumarkanna þar sem nákvæm kortlagning fór fram í leiðangri árið 1988. Til greina kæmi að bora annað hvort eina djúpa borholu eða nokkrar grynri, og var síðari kosturinn talinn raunhæfari vegna kostnaðar. Gerð var tillaga um rannsóknaráætlun. Árið 1989 færi fram tölvuvinnsla á gögnum úr leiðangrinum 1988. Árið 1990 yrðu gögn úr þeim leiðangri túlkuð og athugað hvernig standa mætti að borun á nokkrum grunnnum rannsóknarholum og hvort stjórnvöld eða olíufyrirtæki hefðu áhuga á að kosta þær. Árið 1991 yrði tekin ákvörðun um boranir, og þær undirbúnar og framkvæmdar ef fjárveiting fengist. Fram kom að kostnaður við þessar rannsóknir yrði mikill og óvíst hvort stjórnvöld og olíufyrirtæki vildu greiða kostnaðinn. Bent var á að ef stjórnvöld og olíufyrirtæki væru ófús til að standa að

borunum sem sameiginlegu rannsóknaverkefni mætti hugsa sér að veita olúfyfirtækjum rannsóknar- og vinnsluleyfi á svæðinu með kvöð um borun.

### *Nýjar rannsóknir*

Orkustofnun hafði frumkvæði að nýjum leiðangri á Jan Mayen-svæðið árið 1988 í samstarfi við norsku Olústofnunina og háskólana í Osló og Bergen. Mælingarnar höfðu tvennan tilgang: a) Kanna nákvæmlega lítið, en áhugavert svæði á hryggnum og undirbúa það undir könnunarborun. b) Gera grófa könnun á stóru svæði sunnan hins eiginlega sameiginlega rannsóknarsvæðis með því markmiði að rekja athyglisverð jarðlög í átt til Íslands. Bergenháskóli veitti afnot af mælingaskipinu Håkon Mosby fyrir tiltölulega væga leigu. Norska Olústofnunin greiddi kostnað við siglinguna. Háskólinn í Osló lagði til hlustunardufl og tæknimann um borð. Leiðangurinn var farinn í september og er honum lýst í skýrslu eftirlitsmanns norsku Olústofnunarinnar. Tveir jarðeðlisfræðingar frá Orkustofnun voru um borð sem eftirlits- og mælingamenn. Hljóðendurvarpsmælingar voru gerðar á 18 lín-um sem samtals voru um 950 km að lengd og einnig voru gerðar bylgjubrotsmælingar með 5 hlustunarduflum. Mælinganetið var þétttriðnast á meginhryggnum Noregs megin lögsögumarkanna, þar sem talinn var vera álitlegur staður fyrir rannsóknarboranir í framtíðinni. Voru mælingarnar á þessu svæði hugsaðar sem grundvöllur fyrir staðsetningu borholna á svæðinu. Aðrar mælingar fóru fram á skástígum línunum suður frá meginhryggnum sem lágu að verulegu leyti innan íslensku efnahagslögsögunnar, utan samningssvæðis landanna. Orkustofnun tók að sér alla tölvuvinnslu úr mæligögnum og var hún þyngsta framlag Íslendinga til verksins. Þar bjó stofnunin að reynslu sinni úr Hatton-

Rockall-verkefninu sem áður var lýst. Hljóðendurvarpsniðin reyndust að sumu leyti betri en þau úr leiðangrinum 1985. Samkomulag varð um að gögn úr leiðangrinum yrðu sameign stjórnvalda landanna tveggja á sama hátt og gögnin úr leiðangrinum 1985. Gögnin voru fengin norsku Olústofnuninni til varðveislu að lokinni úrvinnslu þeirra á Orkustofnun, bæði frumgögn og úrunnin gögn. Gögnin voru svo sett í sölu hjá Olústofnuninni á sama hátt og gögnin frá 1985.

## Setlög og gas fyrir Norðurlandi

Frá árinu 1999 hefur iðnaðarráðuneytið kostað rannsóknir á olú- eða gasmöguleikum á landgrunni Norðurlands. Markmiðið hefur verið að afla með tiltölulega ódýrum aðferðum nægilega áhugaverðra gagna um olú- og jarðgasmöguleika á svæðinu til þess að vekja áhuga einkafyfirtækja á að hefja olú- eða gasleit á svæðinu með hljóðendurvarpsmælingum og borunum.

### *Gas í Öxarfirði*

Lífrænt gas finnst við Skóga í Öxarfirði og víðar á Kröflusprungubeltinu svo sem við Klifshaga, Ytri-Bakka og Bakkahlaup. Samstarf hófst árið 2002 milli Rannsóknarsviðs Orkustofnunar og jarðfræðistofnunar Rússlands í Moskvu um sýnatöku og greiningar á fjölhringja kolvetnissameindum í jarðvegi og seti á söndum Öxarfjarðar. Fyrstu niðurstöður bentu til þess að kolvetnissamböndin væru ólík kolvetnissamböndum á öðrum jarðhitasvæðum á Íslandi og skyldari samböndum sem finnast á olú- og gassvæðum. Kolvetnissambönd með þessum einkennum er að finna um alla sandana en uppstreymi náttúrulegs gass í verulegu magni er mjög staðbundið og



*Gasuppstreymi á söndunum í Öxarfirði. Ljósmynd: Guðmundur Ómar Friðleifsson.*

nátengt Kröflusprungubeltinu, langmest við Skógalón og Skóga.

### **Rannsóknir á Tjörneslögum**

Rannsóknasvið Orkustofnunar stóð að borun fjögurra 45–90 m djúpra kjarnaholna á Tjörnesi sumarið 2001 til þess að meta hvort jarðlög svipuð Tjörnessetlögum, og þá sérstaklega surtarbrandslög eins og þar eru varðveitt, geti verið uppsprettuberg fyrir gas eða olíu undir söndum Öxarfjarðar og úti fyrir landi. Fersk sýni af surtarbrandi voru tekin úr öllum holunum og send til greiningar hjá dönsku jarðfræðistofnuninni GEUS. Greiningarnar sýndu að surtarbrandurinn samanstendur af lífrænu efni ættuðu af landi, nánast eingöngu leifum háplantna. Þó er hugsanlegt að eitthvað ef efni ættuðu úr sjó eða stöðuvötnum sé saman við. Jarðlög af þessari gerð geta myndað gas og olíu nái þau að ummyndast undir fargi yngri jarðlaga við hæfilegan hita í ferli sem kallað er þroskun. Þau gefa einkum af sér gas

en geta einnig gefið af sér olíu. Greiningarnar sýna að á Tjörnesi hefur surtarbrandurinn ekki náð að þroskast nægilega til að gefa af sér gas eða olíu. Ef surtarbrandslög eru til staðar undir söndum Öxarfjarðar eða í setlagatroginu fyrir Norðurlandi er hugsanlegt að jarðfræðilegar aðstæður hafi leitt til þroskunar þeirra og þau séu eða hafi verið uppspretta gass, eða olíu, á svæðinu. Niðurstöður rannsókna voru birtar í tveimur greinargerðum. Sumarið 2001 voru boraðar tvær kjarnaholur á vestanverðu Tjörnesi til að ná óveðruðum sýnum af surtarbrandinum til frekari rannsókna. Rannsóknirnar sýna að surtarbrandurinn er ágætis móðurberg. Sé hann til staðar nægilega djúpt í jörðu getur hann gefið af sér gas og hugsanlega einnig olíu. Rannsóknirnar sýna líka að gasið sem surtarbrandurinn gefur af sér við hitun í rannsóknastofu líkist lífræna gasinu sem streymir upp úr söndunum í Öxarfirði. Hér er því hugsanlega komin skýring á gasuppstreymi í Öxarfirði.



Borað eftir surtarbrandi á Tjörnesi sumarið 2001. Ljósmynd: Guðmundur Ómar Friðleifsson.

## Fjölgeislamælingar úti fyrir Norðurlandi

Árið 2002 var farið í fjölgeisladyptarmælingar úti fyrir Norðurlandi. Mælingarnar voru framkvæmdar í samstarfi Orkustofnunar, Raunvísindastofnunar H.Í. og Hafrannsóknastofnunarinnar samkvæmt sérstökum samstarfssamningi stofnananna. Megináhersla var lögð á að greina misgengisstalla og vísbendingar um eldvirkni, jarðhita og vökvauppreymi á hafsbotni. Helstu mælingasvæðin voru Eyjafjarðaráll frá mynni Eyjafjarðar norður á suðurenda Kolbeinseyjarhryggjar og svæði frá Skjálfanda norður fyrir Grímsey, sérstaklega djúpið austan Grímseyjar og sá hluti Skjálfanda sem Húsavíkur-Flateyjarmisgengið liggur um. Faglegar áherslur stofnananna þriggja í samstarfsverkefninu voru dálítið mismunandi. Þátttaka Orkustofnunar var hluti olíuleitarverkefnis á vegum iðnaðarráðuneytisins og samráðsnefndar um land-

grunns- og olíuleitarmál og beindist aðallega að kortlagningu hugsanlegs vökvauppreymis í Eyjafjarðarál þar sem síðar mætti leita vísbendinga um olíu- eða gassmit. Mælingarnar gáfu mjög skýra mynd af misgengisstöllum í Eyjafjarðarál. Ekki sáust nein bein ummerki um hugsanlega lekastaði þar, en skynsamlegt var talið að kanna misgengin betur síðar með nákvæmari botnsjá. Í Skjálfanda kom Húsavíkur-Flateyjarmisgengið mjög skýrt fram sem stallur á hafsbotninum. Jafnframt komu í ljós ójöfnur eftir endilöngu misgenginu sem taldar voru tengjast gígum sem sést höfðu við misgengið með botnsjá í leiðangri Raunvísindastofnunar H.Í. Talið var að grópirnar gætu verið myndaðar við uppstreymi vökva úr setlögum undir hafsbotni. Einnig var talið mögulegt, ef gas eða olíulindir eru til staðar djúpt í jörðu, að olíuefni hafi borist upp með vökvanum og smitast út í setlögin umhverfis grópirnar. Því væri rétt að reyna að skoða þessa staði nánar t.d. með neðansjávarmynda-

vél og ná sýnum af botnsetinu. Til viðbótar við grópirnar eftir Húsavíkur-Flateyjarmisgenginu komu einnig í ljós ýmsar aðrar tor-kennilegar grópir í hafsbotninn á tveimur öðrum stöðum í Skjálfanda sem skynsamlegt var talið að kanna nánar síðar með tilliti til olíusmits upp til yfirborðs

Farinn var rannsóknaleiðangur í Skjálfanda sumarið 2003 til þess að kanna hugsanlegar uppstreymisrásir og gasmettun í setlögum sem fram höfðu komið í fyrri leiðöngurum. Útbreiðsla gasettaðra jarðlaga vestur af Húsavík var könnuð með hljóðendurvarpsmælingum sem ná nokkra tugi metra niður fyrir hafsbotn. Teknar voru myndir með neðansjávarmyndavél og sýni tekin af hafsbotninum. Þrír aðrir staðir í Skjálfanda, þar sem grópir benda til gasuppstreymis, voru einnig kannaðir á sama hátt og hafsbotninn þar að auki skimaður með hljóðsjá. Leiðangurinn var samstarfsverkefni Orkustofnunar, Raunvísindastofnunar Háskólans og Woods Hole Oceanographic Institute í Bandaríkjunum og var gerður um hann sérstakur samningur. Að verkefninu komu einnig vísindamenn frá Íslenskum orkurannsóknnum og Scripps Institution of Oceanography og voru rannsóknaskip leigð af Hafrannsóknastofnuninni og Sjósmælingum Íslands. Íslenskar orkurannsóknir sáu um framkvæmd verkefnisins fyrir hönd Orkustofnunar.

Sumarið 2003 var einnig gerður rannsóknaleiðangur til fjölgeisladýptarmælinga í Skjálfanda og Öxarfirði með rannsóknaskipi Sjósmælinga Íslands, MB Baldri. Mælingarnar voru gerðar í samstarfi Orkustofnunar, Raunvísindastofnunar Háskólans og Landhelgisgæslu Íslands. Vísindamenn á vegum stofnanna sem að verkefninu stóðu sáu um leiðangursstjórnun um borð en starfsmenn Sjósmæl-

inga Íslands önnuðust tölvuúrvinnslu dýptarmælinganna. Þátttaka Orkustofnunar var hluti olíuleitarverkefnis á vegum iðnaðarráðuneytisins og beindist aðallega að frekari kortlagningu og rannsóknum á hugsanlegu vökva- eða gasuppstreymi í Öxarfirði og Skjálfanda. Íslenskar orkurannsóknir sáu um hlut Orkustofnunar í rannsóknunum sem verktaki. Markmið Orkustofnunar var að kanna hvort svipuð ummerki um gas- eða grunnvatnuppstreymi og sést höfðu í fyrri leiðöngurum í Skjálfanda væri að finna á botni Öxarfjarðar. Áhersla var lögð á að skoða neðansjávarhluta Kröflusprungubeltisins í Öxarfirði vegna þess að vitað var að gas streymir upp innan sprungubeltisins á landi. Markmið stofnunarinnar var einnig að kortleggja ítarlegar grópir og dældir í norðausturhluta Skjálfanda sem fyrri leiðangrar 2002 og 2003 höfðu sýnt að gætu verið gasuppstreymisstaðir. Þátttaka Raunvísindastofnunar beindist fyrst og fremst að almennri jarðfræði og jarðhniki svæðisins frá sjónarmiði grunnrannsókna. Markmið hennar var einkum að kortleggja misgengi á hafsbotni í Öxarfirði og við Mánáreyjar með fjölgeisladýptarmæli í þeim tilgangi að afla frekari upplýsinga um uppbyggingu eldstöðvakerfa innan Grímseyjarbeltisins. Mælinga- svæðin voru Öxarfjörður milli u.þ.b. 100 og 200 metra dýptarlína. Ekki var reynt að þekja allt svæðið með þéttum línunum en aðallega reynt að kortleggja álitleg svæði með þéttari mælingum, eftir að lausleg skoðun fór fram á völdum sniðum. Í öðru lagi var leitast við að kortleggja hluta af svæðinu umhverfis Mánáreyjar og norður fyrir Mánáreyjabreka. Í þriðja lagi var safnað háupplausnargögnum af hluta svæðisins í norðaustur Skjálfanda þar sem stórar grópir sáust með mælingu MS Árna Friðrikssonar 2002.

---

# Jarðhitaskóli Háskóla Sameinuðu þjóðanna

INGVAR BIRGIR FRÍÐLEIFSSON

## Um skólann

Háskóli Sameinuðu þjóðanna var stofnaður 1975 til að efla rannsóknir, þekkingu og skilning á vandamálum sem Sameinuðu þjóðirnar (Sp) fjalla um. Eitt aðalmarkmiðið var að bæta hag þróunarlandanna með því að veita þeim aðild að alþjóðlegum rannsóknarsetrum og starfsþjálfun fyrir sérfræðinga á ýmsum sviðum. Stjórnstöð háskólans var opnuð í Tókýó, en í stað þess að byggja skólahús og rannsóknarstofur út um allan heim voru aðildarlönd Sp hvött til að opna dyr háskóla sinna og rannsóknarstofnana og taka þannig þátt í starfsemi skólans.

Ísland var eitt af fyrstu aðildarlöndum Sp til að sinna kalli og bauðst til að reka annað hvort jarðhitaskóla eða sjávarútvegsskóla á vegum Háskóla Sp hérlendis. Matsnefnd á vegum Sp taldi aðstæður til skólahalds hér betri á sviði jarðhitafræða og að mikil þörf væri á uppbyggingu þekkingar í nýtingu endurnýjanlegra orkulinda í þróunarlöndunum. Þetta var í miðri olíukreppunni sem hófst 1973. Eftir alþjóðlega ráðstefnu á Íslandi og mikla undirbúningsvinnu var komist að samkomulagi í árslok 1978 um stofnun Jarðhitaskóla Háskóla Sp á Íslandi. Ríkisstjórnin fól Orkustofnun

að sjá um rekstur Jarðhitaskólans og semja við Háskóla Sp þar um. Orkustofnun varð með þessu ein af tengdastofnunum (associated institution) Háskóla Sp. Háskóli Íslands hefur tekið virkan þátt í starfsemi Jarðhitaskólans frá upphafi, svo og orkufyrirtæki og verkfræðistofur.

Fyrstu nemendurnir komu í Jarðhitaskólann vorið 1979. Síðan hefur árlega komið hópur raunvísindamanna og verkfræðinga frá þróunarlöndunum og löndum Mið- og Austur-Evrópu til sex mánaða sérhæfðs náms á Íslandi. Allt er þetta fólk með háskólapróf og starfandi við orkurannsóknir eða orkuframleiðslu og dreifingu í sínum heimalöndum.

## Markmið og námsbrautir

Markmið Jarðhitaskólans er að aðstoða þróunarlönd og ríki Mið- og Austur-Evrópu (þó ekki aðildarlönd Evrópusambandsins), sem hafa umtalsverðan jarðhita, við að byggja upp sérfræðingahópa til að rannsaka og nýta jarðhitann. Aðalstarfsemi skólans er árleg sex mánaða sérfræðinámskeið þar sem boðið er upp á níu sérhæfðar námsbrautir, þ.e. jarðfræði-jarðhitaleit, borholujarðfræði, jarðeðlis-



*Vettvangsferðir er mikilvægur þáttur í starfsemi skólans. Hér skoða nemendur borholu í Laugalandi í Eyjafirði árið 2003. Ljósmynd: Ingoar Birgir Friðleifsson.*

fræði-jarðhitaleit, borholumælingar, forðafræði, jarðefnafræði, umhverfisfræði, jarðhitaverkfræði og borverkfræði. Framan af var mest eftirspurn eftir námi í jarðeðlisfræði og jarðefnafræði, en með aukinni nýtingu jarðhita í samstarfslöndunum hefur eftirspurnin verið mest í forðafræði, jarðhitaverkfræði, umhverfisfræði og jarðefnafræði. Sumar námsbrautir eru opnar nær árlega en aðrar á 2–3 ára fresti.

Um helmingi námstímans er varið til rannsóknarverkefna þar sem nemendur eru í einstaklingskennslu hjá leiðbeinendum sínum. Meirihluti nemenda kemur með rannsóknargögn að heiman til úrvinnslu. Rannsóknarskýrslur nemenda eru allar birtar í Árbók Jarðhitaskólans sem er prentuð og dreift til fyrri nemenda, rannsóknarstofnana og orkufyrirtækja um allan heim. Í mörgum þróunarlöndum er bóka- og tímaritakostur mjög tak-

markaður og koma árbækur Jarðhitaskólans því að góðum notum til að fylgjast með nýjum rannsóknaraðferðum. Árbókin er einnig birt á heimasíðu skólans.

## Nemendur

Nemendur þurfa að hafa lokið háskólaprófi í raunvísindum eða verkfræði, hafa a.m.k. eins árs starfsreynslu í jarðhita í heimalandinu og vera þar í fullu starfi við jarðhita. Skólagjöld, ferðir og dagpeningar nemenda eru greiddir með styrkjum sem kostaðir eru af íslenskum stjórnvöldum og Háskóla Sp. Nemendur eru valdir með viðtölum í heimalöndum sínum. Árlega eru farnar nokkrar ferðir til samstarfslanda á vegum Jarðhitaskólans til að velja nemendur. Jarðhitasvæði eru skoðuð og lagt





*Leiðbeinendur eru í nánum tengslum við nemendur: Helga Tulinius, jarðeðlisfræðingur á Orkustofnun og Klara Bojadgieva, jarðeðlisfræðingur frá Búlgaríu, í mælingabil Orkustofnunar árið 1990.*

*Á árunum 1979–2005 luku 338 nemendur 6 mánaða námi frá skólanum, þar af 53 konur. Ljósmynd: Ingvar Birgir Friðleifsson.*

mat á jarðhitamöguleika landsins, stofnanir heimsóttar, rannsóknarstofur skoðaðar, samstarfsstofnanir valdar og lagt mat á þörf á þjálfun. Árin 1979–2005 voru farnar 153 slíkar heimsóknir til samstarfslanda, eða 5-6 á ári. Þessar ferðir hafa tryggt góða nemendur og markvissa þjálfun sem er löguð að aðstæðum og þörfum hvers lands.

Árin 1979–2005 hafa 338 jarðhitafræðingar frá 39 löndum útskrifast eftir 6 mánaða nám við Jarðhitaskólann, þar af 53 konur (16%). Þau hafa komið frá Asíu (44%), Afríku (26%), Mið- og Austur-Evrópu (16%),

og Mið-Ameríku (14%). Flestir nemendur hafa komið frá Kína (62), Kenýa (35), Filippseyjum (29), Eþíópíu (23), El Salvador (22) og Indónesíu (17). Í mörgum löndum hefur skólinn aðstoðað við að byggja upp sérfræðingahópa hjá einni eða tveimur stofnunum og þjálfað fólk frá þeim á flestum eða öllum námsbrautum. Þannig hafa verið byggðir upp sterkir sérfræðingahópar. Einnig hefur skapast mikið samstarf milli nemenda og kennara á Íslandi svo og milli nemenda á sama sviði í mörgum löndum. Til að styðja enn frekar við stofnanir í nokkrum löndum





Segulmælingar í Reykholtaldal árið 1991. Lúðvík S. Georgsson, leiðbeinir nemendum. Ljósmynd: Ingvor Birgír Friðleifsson.

hefur verið boðið upp á meistaranám í samvinnu við Háskóla Íslands frá árinu 2000. Hefðbundið 6 mánaða nám við Jarðhitaskólann er metið til 15 eininga af alls 60 eininga MSc námi við raunvísindadeild og verkfræðideild Háskóla Íslands. Árið 2005 höfðu 8 nemar útskrifast með MSc gráðu.

Nemendur Jarðhitaskólans eru leiðandi í jarðhitastarfsemi fjölmargra landa. Þetta kemur greinilega fram bæði innan viðkomandi landa og á alþjóðavettvangi. Margir nemendanna eru mjög virkir í alþjóðasamstarfi. Á Alþjóðajarðhitaráðstefnunni í Japan 2000 fluttu t.d. 61 nemandi frá 24 löndum erindi, en nemendur skólans voru höfundar/meðhöfundar 85 greina í ráðstefnuritinu. Á Alþjóðajarðhitaráðstefnunni í Tyrklandi 2005 voru 104 nemendur skólans frá 26 löndum höfundar eða meðhöfundar 144 greina af um 700 í ráðstefnuritinu.

## Rekstur og skipulag

Jarðhitaskólinn var í upphafi rekinn innan Jarðhitadeildar OS en með aðskildu bókhaldi. Frá 1997 hefur hann verið rekinn sem sjálfstæð rekstrareining innan OS. Fastir starfsmenn hafa frá upphafi verið þrír. Námsráð sér um faglega skipulagningu námsins og er einn námsstjóri ábyrgur fyrir hverri braut. Í námsráði eru sjö jarðhitasérfræðingar Íslenskra orkurannsókna (ÍSOR) og tveir prófessorar við Háskóla Íslands. Námsráðið er faglegur burðarás starfseminnar. Skólinn greiðir árlega fyrir þjónustu um 50 einstaklinga. Kennarar og leiðbeinendur hafa einkum komið frá Orkustofnun (60%) og Háskóla Íslands (20%), en einnig frá öðrum rannsóknarstofnunum, orkufyrirtækjum og verkfræðistofum. Eftir skipulagsbreytingar á Orkustofnun 2003 hef-



Allir nemendur skólans eru valdir með viðtölum í heimalöndum þeirra og fara starfsmenn skólans að jafnaði í 6 ferðir árlega til að velja nemendur. Á myndinni er Ingvar Birgir Friðleifsson, forstöðumaður skólans, í slíkri heimsókn í Kína árið 1983. Ljósmynd: Yao Zujin.

ur mestur hluti kennslunnar verið hjá ÍSOR. Skólinn hefur átt því láni að fagna að geta nánast alltaf boðið upp á landsliðið í jarðhitafræðum. Skólinn hefur notið mikils stuðnings og velvildar orkufyrirtækja og ber sérstaklega að nefna Hitaveitu Suðurnesja, Landsvirkjun, Orkuveitu Reykjavíkur og Norðurorku. Styrkur skólans felst í vönduðu vali á nemendum, hæfni kennaranna og gæðum þess starfsumhverfis sem námið fer fram í.

Samstarf við aðalstöðvar Háskóla Sþ í Tókýó er einkum tengt stefnumótun í rekstrinum og vali á nemendum. Jarðhitaskólinn sér um

að velja samstarfslönd og nemendur, en nemendavalsnefnd í Tókýó þarf að samþykka valið, enda eru námsstyrkir að hluta kostaðir af Háskóla Sþ. Hlutdeild Háskóla Sþ í heildarkostnaði við rekstur skólans undanfarin ár hefur verið 10-20%, en hlutdeild Íslands 80-90%. Forstöðumaður Jarðhitaskólans situr árlega fundi háskólaráðs og fundi forstöðumanna stofnana Háskóla Sþ fyrir hönd íslensku skólanna (Jarðhitaskóla og Sjávarútvegsskóla, sem stofnaður var 1998). Rektor Háskóla Sþ og háskólaráð hvetja mjög til eflingar starfseminnar á Íslandi.

## Framtíðarhorfur

Í áætlun um starfsemi Jarðhitaskólans 2005-2008 er gert ráð fyrir að aðalstarfsemi skólans verði áfram árleg 6 mánaða sérfræðinámskeið fyrir um 20 nemendur. Gert er ráð fyrir að fjölga nemendum í meistaranámi í samvinnu við Háskóla Íslands úr 5 í 10 á ári. Enn fremur eru ráðgerð sérhæfð jarðhitanámskeið í þróunarlöndunum. Háskólaráð Háskóla Sþ hefur undanfarin ár hvatt eindregið til slíkra námskeiða til viðbótar núverandi starfsemi skólans. Íslensk stjórnvöld kynntu slík námskeið sem framlag Íslands til sjálfbærrar þróunar á ráðstefnu Sþ í Jóhannesborg 2002 og staðfestu það boð á framhaldsráðstefnu 2004. Fyrrum nemendur skólans verða meðal kennara á námskeiðunum. Fyrsta námskeiðið verður í Kenya í nóvember 2005.

Styrkur jarðhitaskólans felst í vönduðu vali á nemendum, hæfni kennaranna og gæðum þess starfsumhverfis sem námið fer fram í.

Sjávarútvegsskóli Háskóla Sþ var stofnaður 1998 og er vistaður í Sjávarútvegshúsinu hjá Hafrannsóknastofnun og Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins. Kennarar og leiðbeinendur koma einnig frá Háskóla Íslands, Háskólanum á Akureyri og fleiri stofnunum og fyrirtækjum. Starfsemi skólans byggir um margt á reynslu Jarðhitaskólans og býður upp á 6 mánaða nám á 6 sérhæfðum námsbrautum. Starfsemin hefur gengið framúrskarandi vel. Skólinn hefur fyrstu 7 árin útskrifað 103 nemendur frá 22 löndum.

Starfsemi Jarðhitaskólans og Sjávarútvegsskólans er umfangsmesta framlag Íslands til marghliða þróunaraðstoðar. Skólarnir miðla þróunarlöndunum af reynslu Íslands við að nýta náttúruauðlindir á sjálfbæran hátt. Báðir skólarnir hafa skapað sér sess sem alþjóðleg

öndvegissetur á fræðasviðum sem eru mikilvæg fyrir íslenska þjóð, þ.e. nýtingu jarðhitans og nýtingu fiskistofnanna. Aðsókn að skólunum er mikil frá öllum heimshornum. Háskólaráð Háskóla Sþ hefur í samþykktum sínum farið mjög lofsamlegum orðum um skólana og framlag Íslands til þróunaraðstoðar í sjálfbærri nýtingu auðlinda hafsins og jarðskorpunnar.

Jarðhitaskóli Háskóla Sameinuðu þjóðanna hefur haft mikið gildi fyrir íslenska jarðhitamenn. Auk þess að miðla af þekkingu sinni hafa þeir öðlast mikilvægar upplýsingar um ástand mála í heimalöndum nemenda. Tengsl við nemendur hafa einnig orðið til þess að Íslendingar hafa fengið fjölmörg verkefni á sviði jarðhitafræða á erlendri grund.

Á heimasíðu Jarðhitaskólans ([www.os.is/unugtp](http://www.os.is/unugtp)) er að finna nánari upplýsingar um námið og skólann.

Við upphaf nýrrar aldar horfir alþjóðasamfélagið í auknum mæli til þess árangurs sem Íslendingar hafa náð í að nytja fiskistofna sína og endurnýjanlegar orkulindir. Samstarfið við Háskóla Sþ er kjörinn vettvangur fyrir Íslendinga til að miðla af reynslu sinni til þurfandi þjóða um víða veröld. Til tals hefur komið að stofna þriðja skólann á Íslandi í samvinnu við Háskóla Sþ, í landgræðslu, og hugsanlegt er að stofna fleiri skóla á sviðum þar sem Íslendingar skara fram úr alþjóðlega.

Á heimasíðu Jarðhitaskólans ([www.os.is/unugtp](http://www.os.is/unugtp)) er að finna lýsingu á fyrirkomulagi náms og námsbrautum svo og upplýsingar um hversu margir nemendur frá hinum ýmsu löndum hafa stundað nám á mismunandi brautum. Á heimasíðunni má einnig finna ítarlegt erindi um starfsemi skólans í 25 ár (Ingvar Birgir Friðleifsson, 2003).