



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Ársfundur Orkustofnunar 1992

26. mars 1992

Önnur útgáfa

OS-92013

Maí 1992



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Ársfundur Orkustofnunar 1992

26. mars 1992

Önnur útgáfa

ÁRSFUNDUR ORKUSTOFNUNAR 1992

Haldinn fimmtudaginn 26. mars kl. 13:30 að Borgartúni 6

Dagskrá:

- 13:30 *Ávarp iðnaðarráðherra, Jóns Sigurðssonar.*
- 13:40 *Nýting íslenskra orkulinda í framtíðinni og nauðsynlegar undirbúningsrannsóknir. Jakob Björnsson, orkumálastjóri.*
- 14:20 *Hlutur grunnvatns í vatnsaflí. Freysteinn Sigurðsson, jarðfr.*
- 15:00 *Kaffihlé.*
- 15:20 *Háhiti til raforkuframleiðslu. Valgarður Stefánsson, eðlisfræðingur.*
- 15:00 *Umræður.*
- 16:10 *Fundarslit. Sigþór Jóhannesson, formaður stjórnar Orkustofnunar.*
- 16:20 *Yfirlitssýning: Virkjunarhugmyndir - Efri Þjórsá. Könnun jarðgangaleiða í Hvalfirði. Boðið upp á léttar veitingar.*
- 17:20 *Dagskrárlok.*

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

Fundarstjóri: Haukur Tómasson, forstjóri Vatnsorkudeildar.

Íslensk orkumál í alþjóðlegu samhengi

Ávarp á ársfundi Orkustofnunar 26. mars 1992

Jón Sigurðsson, iðnaðar- og viðskiptaráðherra

Það er mér ánægja að fá í þriðja sinn tækifæri til að ávarpa ársfund Orkustofnunar. Tilgangurinn með ársfundunum er að veita almenningi, orkufyrirtækjum, stjórnvöldum og öðrum sem láta sig orkumálin varða upplýsingar um þau verkefni sem stofnunin fæst við. Þessir fundir gefa nokkra innsýn í það sem hæst ber í orkumálunum bæði hér á landi og erlendis. Það er mikilvægt fyrir rannsóknar- og ráðgjafarstofnun - eins og Orkustofnun - að hafa slíkan vettvang.

Orkuáætlun

Á ársfundum stofnunarinnar 1990 og 1991 vék ég að mikilvægi þess að móta langtímaáætlun um hagnýtingu orkulindanna. Ég vil enn á ný gera þetta að umræðuefni.

Það þarf skipulag og framsýni til að nýta orkulindir okkar vel til að efla velferð þjóðarinnar. Undirstaða þess er að unnið sé eftir langtímaáætlun um rannsóknir sem tryggi að við getum gripið tækifærin þegar þau gefast.

Í fyrra gaf iðnaðarráðuneytið út líttinn bækling sem ber heitið "Hagnýting orkulinda og landgrunns. Framtíðarverkefni fram yfir aldamót". Þessi bæklingur var unninn í nánú samstarfi við Orkustofnun og tók meðal annars mið af þeirri framtíðarsýn sem Jakob Björnsson orkumálastjóri dró upp á ársfundi stofnunarinnar í mars 1991.

Í þessum bæklingi er lögð rík áhersla á nauðsyn þess að átak verði gert í vatnsorkurannsóknum, ella gæti svo farið að skortur á undirbúningi valdi töfum á áframhaldandi nýtingu vatnsorkunnar á Íslandi. Gerð var áætlun um vatnsorkurannsóknir sem náði til árána 1991 til 1995 og vil ég nota þetta tækifæri til að leggja áherslu á að áætluninni verði fylgt. Við höfum ekki efni á að missa af þeim tækifærum sem kunna að bjóðast vegna skorts á undirbúningi.

Það er einnig mikilvægt að unnið verði skipulega að undirbúningi undir virkjun háhitans til raforkuvinnslu. Þar eru meiri möguleikar á að velja stærð virkjunar en við virkjun vatnsorku og því geta jarðgufuvirkjanir fallið betur að hægt vaxandi markaði almennrar raforkunotkunar.

Jan Mayen svæðið

En það er víðar orka en í fallvötnum og jarðhita. Jan Mayen svæðið er sá hluti efnahagslögsögu okkar þar sem mestar líkur eru á að finna megi olfu. Á síðasta áratug var unnið að rannsóknum á Jan-Mayen hryggnum. Þessar rannsóknir voru í samvinnu Íslendinga og Norðmanna. Af hálfu Íslendinga tók Orkustofnun þátt í þeim.

Á síðasta ári átti ég viðræður við olfu- og orkumálaráðherra Noregs, Finn Kristensen, og lagði fram hugmyndir um leiðir til þess að halda þessum rannsóknum áfram, einkum til að vekja áhuga olufélaga á þeim. Norðmenn hafa nú sent okkur hugmyndir sínar í þessu efni, sem unnið verður úr á næstunni í samstarfi þjóðanna. Jafnframt var rætt við dönsk og grænlandsk stjórnvöld um hvaða leiðir hafa verið farnar til að efla áhuga á rannsóknum við Grænland.

Ég tel nauðsynlegt að þeir sem sinna rannsóknum á þessu sviði sýni frumkvæði í þessum efnum. Það er mikilvægt fyrir þjóðarhagsmunum okkar í lengd og bráð að við sinnum auðlindakönnun á því víðfeðma hafssvæði sem samningarnir um Jan Mayen gáfu okkur rétt til.

Endurskoðun orkurannsókna og orkumála

Það er mikilvægt að koma fjármögnun rannsókna á orkulindunum og annarrar upplýsingasöfnunar og rannsókna á orkusviðinu á traustan grundvöll. Í stefnuskrá ríkisstjórnarinnar er gert ráð fyrir að orkufyrirtækin greiði þjónustugjöld til opinberra aðila fyrir rannsóknir, leyfisgjald fyrir orkuvinnslu o.fl. Nú er einmitt að hefjast vinna sem miðar að því koma þessu í framkvæmd.

Í stefnuskrá ríkisstjórnarinnar er gert ráð fyrir að endurskoða skipan orkumála og orkurannsókna. Endurskoðunin er hafin og ég stefni að því að leggja fram til kynningar á þessu þingi frumvarp um eign þjóðarinnar á auðlindum neðan yfirborðs jarðar, sem á ekki síst við jarðhitann. Þá hefur verið samið frumvarp um að breyta Rafmagnsveitum ríkisins í hlutafélag.

Ég hef nýlega skipað nefnd til þess að meta hvort núverandi skipulag þeirra rannsóknastofnana, sem starfa á vegum iðnaðarráðuneytisins, það er Iðntæknistofnunar, Rannsóknarstofnunar byggingariðnaðarins og Orkustofnunar, skili árangri í samræmi við þá fjármuni, sem til stofnananna er varið. Ýmislegt bendir til þess að verkefni stofnananna skarist á sumum sviðum og nauðsynlegt er að hagræða reglulega í rekstri þeirra til þess að þær nái sem bestum árangri á hverjum tíma.

Við verðum að horfa opnum augum á það stofnanahald, sem komið hefur verið á fót til þjónustu við mismunandi atvinnugreinar með það fyrir augum að virkja okkar fámenna rannsóknar- og ráðgjafarlið enn betur.

Orkusáttmáli Evrópu

Á fundi orkuráðherra ríkja Evrópu, Ástralíu, Bandaríkja Norður- Ameríku, Japan og Kanada í Haag í desember s.l. var undirrituð stefnuyfirlýsing um samvinnu á sviði orkumála. Yfirlýsingin ber heitið Orkusáttmáli Evrópu.

Hugmyndin að sáttmálanum grundvallaðist á þeim breytingum sem orðið hafa á stjórnarfari og efnahagslífi í Austur-Evrópu og auknum skilningi á nauðsyn samvinnu Evrópuþjóða.

Í ríkjunum sem undirrituðu sáttmálann er að finna verulegan hluta af orkulindum jarðar. Meginmarkmiðin með gerð hans eru að efla öryggi í framboði orku, bæta nýtni í vinnslu, flutningi, dreifingu og notkun orku, jafnframt því sem dregið verði sem mest úr umhverfisvanda sem fylgja kann vinnslu og notkun orku.

Í yfirlýsingu sem ég gaf á fundinum í Haag fyrir hönd ríkis- stjórnar Íslands lagði ég sérstaka áherslu á tvö meginatriði í sáttmálanum. Annars vegar að grundvöllur samvinnu milli ríkja samkvæmt honum væri fullveldi ríkja og fullveldisréttur þeirra yfir orkulindum. Og hins vegar að bestukjarameðferð skuli gilda í orkusamskiptum aðildarríkjana.

Sáttmálinn er fyrst og fremst stefnuyfirlýsing, en honum munu fylgja lögformlega bindandi grunnsamningar og bókanir. Unnið hefur verið að þeirri samningsgerð á þessu ári en ljóst er að ágreiningur er um mörg atriði. Tíminn mun leiða í ljós hvort viðunandi samstaða næst milli ríkjanna.

Íslensk orka í alþjóðlegu samhengi

Orkumál á Íslandi verður að skoða í alþjóðlegu samhengi. Það þekkjum við auðvitað af langri reynslu við samninga um orkusölu til stóriðju. En hugmyndir um orkusölu beint til útflutnings gera það auðvitað enn brýnna. Við orkuna hafa verið og verða enn bundnar vonir um bætt líffskjör. Þótt afturkiptur hafi komið í Atlantsálmálið vegna ytri aðstæðna er fyllsta ástæða til að ætla að úr rætist þegar hagur áliðnaðar og efnahagslíf heimsins fær bata.

Þegar til lengri tíma er litið eru framundan stórverkefni við það að tengja Ísland við orkukerfi Evrópu með sæstreng. Til þess að gera þann draum að veruleika þarf ekki síst að tryggja íslenskri orku hindrunarlausan aðgang að orkumarkaði Evrópu. Þar kemur m.a. til skjalanna Orkusáttmáli Evrópu sem ég lýsti hér áðan.

Á vegum iðnaðarráðuneytis og Landsvirkjunar fer nú fram margháttað undirbúningsstarf vegna þessa máls, sem hefur verið rætt við ýmsa aðila í Englandi, Þýskalandi og framkvæmdanefnd Evrópubandalagsins. En ekki síður er þörf á að undirbúa hvernig við viljum standa að skipulagi þessara verka hér heima. Ég tel að til þess þurfi nýtt skipulag og nýjar forsendur fyrir verðmyndun m.a. sérstakt auðlindagjald af þeirri orku sem flutt verður beint úr landi í framtíðinni.

Iðnbylting hugarfarsins

Menn skiptast og hafa skipst - í iðjusinna, framfarsinna - annars vegar og varðveislumenn gamla atvinnuhátta hins vegar. Þessi skipting gekk - og gengur enn - oft þvert á flokkalínur í stjórnmálum í venjulegum skilningi.

Átökin um iðnbyltingaröflin hafa í reynd ráðið meiru en flestir gera sér ljóst um framvindu þjóðmála á Íslandi á þessari öld.

Fyrir nokkrum árum kom út bók eftir ungan sagnfræðing, Ólaf Ásgeirsson, þar sem hann skýrir Íslandssöguna árabilið 1900- 1940 út frá þessu sjónarmiði - þessum söguskilningi. Bók sína kallaði Ólafur Iðnbyltingu hugarfarsins. Bókin er á ýmsa lund tímamótaverk.

Iðnþróun á Íslandi hefur gengið í rykkjum og skrykkjum, en heildarstefnan á þessari öld er skýr: Iðnvæðing Íslands og útbreiðsla nýrrar tækni og vélmenningar í öllum atvinnugreinum. Þessi þróun var ör á fyrstu tveimur áratugum aldarinnar; iðjusinum óx fiskur um hrygg. Næstu tvo áratugi náðu varðveislumenn síðan að spyрна nokkuð við fótum.

Heimstyrjöldin síðari færði svo með sér nýja öldu vélvæðingar yfir Ísland sem haft hefur mikil áhrif á atvinnuhætti og alla þróun þjóðmála.

Miklar deilur stóðu á sjöunda áratugnum um stórhuga nýtingu orkunnar, áform og síðar byggingu álbræðslunnar í Straumsvík. Aftur urðu svo deilur um járnblendiverksmiðjuna á Grundartanga á áttunda áratugnum. Að lokinni smíði hennar varð svo hlé í uppbyggingu stóriðju á grundvelli orkulindanna sem nú er verið að reyna að rjúfa. Það er sannfæring mín að þegar ytri skilyrði batna hefjist hér nýtt virkjanaskeið.

Mér virðist að iðjustefnan hafi nú loksins sigrað svo innri andstæður í stjórnámálum muni ekki lengur tefja framfarir sem byggjast á samstarfi við erlend fyrirtæki og iðnaðarfjárfestingu þeirra hér á landi.

Góðir fundarmenn.

Ég læt hér lokið mínu máli og óska ykkur góðra fundarstarfa og þakka starfsmönnum Orkustofnunar vel unnin störf á liðnu ári og óska þeim velgengni í framtíðinni.

Nýting íslensku orkulindanna í framtíðinni og nauðsynlegar undirbúningsrannsóknir

Jakob Björnsson, orkumálastjóri

1. INNGANGUR

Á ársfundum Orkustofnunar undanfarin ár hef ég verið allmiklum hluta af tímanum í erindum mínum til að rekja starfsemi stofnunarinnar á liðnu ári, en í lok máls míns vikið að öðru sem ofarlega hefur verið á baugi í orkumálum, bæði hér heima og erlendis. Að þessu sinni hyggst ég stytta nokkuð umfjöllun mína um starfsemi Orkustofnunar á liðnu ári, enda eru henni gerð ítarleg skil í ársskýrslu stofnunarinnar sem þið hafið fengið í hendur, en nota meiri tíma til að ræða ýmis framtíðarviðhorf í íslenskum orkumálum og hvernig þau viðhorf snerta starfsemi stofnunarinnar í framtíðinni. Ég ætla sem sagt í ríkari mæli en áður að horfa fram fremur en aftur.

2. ORKUSTOFNUN 1991

2.1 Vatnsorkurannsóknir

Af vettvangi vatnsorkurannsókna á árinu 1991 er það helst að segja að gengið var, í samvinnu við Verkfræðideild Landsvirkjunar, frá áætlun um átak í vatnsorkurannsóknum á næstu árum. Áætlunin tekur til undirbúningsrannsókna undir nýjar virkjanir er geti staðið undir tvöföldun væntanlegs álvers á Keilisnesi rétt upp úr aldamótunum og fyrsta áfanga í útflutningi raforku á fyrsta áratug næstu aldar. Markmið hennar á sér stoð í þeim yfirlýsta ásetningi stjórnvalda að hraða nýtingu orkulindanna, en í stjórnarsáttmálanum segir að ríkisstjórnin muni, auk þess að leiða til lykta viðræður um byggingu álvers á Keilisnesi, "vinna að áætlun um áframhaldandi nýtingu orkulindanna". Hér er um langtíamarkmið að ræða sem frestunin á álverinu á Keilisnesi raskar ekki í neinum meginráttum. Ég mun síðar í þessu erindi vika nánar að þessum rannsóknum.

Reynsla af gerð jarðganga hér á landi bendir til að þau geti verið mun ódýrari en haldið var áður. Þetta hefur leitt til þess að menn hafa breytt fyrri hugmyndum sínum um vatnsaflsvirkjanir hér á landi, og til þess að margar þeirra virðast munu verða talsvert ódýrari en áður var talið. Orkustofnun hefur breytt virkjunarlíkönunum sínum til samræmis við þetta, og hefur það leitt af sér endurskoðun á hugmyndum um fjölmargar virkjanir sem nú eru á rannsóknarstigi. Þessi endurskoðun hefur bæði leitt af sér lægri virkjunarkostnað og orkumeiri virkjanir vegna breyttrar tilhögunar. Margt bendir til að þessi endurskoðun geti fyrir landið í heild leitt til þess að sú vatnsorka sem talið er hagkvæmt að nýta hækki um allt að 10 000 GWh/a frá því sem áður var reiknað með.

Gott dæmi um þetta er Hraunavirkjun á Austurlandi, með um 80 km af jarðgöngum í austfirski basaltinu. Hún nýtir vatnið af hálandinu austan Vatnajökuls, ofan 670 m hæðar yfir sjó, en á því er afar mikil úrkoma. Áætluð orkugeta er um 2000 GWh/a, sem er næstum því hrein viðbót við fyrri hugmyndir um hagkvæma vatnsorku. Fleiri dæmi eru rakin í ársskýrslunni.

Vatnsaflsvirkjanir hafa sem kunnugt er áhrif á umhverfið. Á árinu 1991 vann Orkustofnun að því, ásamt Landsvirkjun og Náttúruverndarráði, innan ramma Samstarfsnefndar Iðnaðarráðuneytisins og Náttúruverndarráðs um orkumál, SINO, að gera yfirlit yfir áhrif helstu virkjana sem gerðar kunna að verða hér á landi í náginni framtíð á umhverfið. Rannsóknir á þessum áhrifum hafa um langan aldur verið hluti af vatnsorkurannsóknum Orkustofnunar. Yfirlit þetta er sumpart gert samkvæmt þingsályktunartillögu sem samþykkt var á Alþingi um þetta mál. Sem stendur beinist athyglin í þessu starfi fyrst og fremst að Jökulsá á Fjöllum og Jökulsá á Dal, þótt hún sé ekki takmörkuð við þær tvær. M.a. lætur Orkustofnun nú taka kerfisbundið myndir af Dettifossi við mismunandi rennsli til þess að unnt sé að meta fyrirfram áhrif rennslibreytinga vegna virkjunar á útlit hans.

Sú aukna notkun á jarðgöngum sem líkleg er í virkjunum hér á landi í framtíðinni verður til að draga úr óæskilegum áhrifum þeirra á umhverfið, auk þess að lækka virkjunarkostnaðinn.

2.2 Jarðhitarannsóknir

Á árinu hafði Jarðhitadeild forgöngu um að endurskoða aðferðir til virkjunar háhita til raforkuvinnslu. Um það mun dr. Valgarður Stefánsson, deildarstjóri Forðafræðisviðs þeirrar deildar, flytja sérstakt erindi á þessum ársfundi.

Undirbúið var á árinu rannsóknaráttak á íslenskum háhitasvæðum á næstu árum með vinnslu raforku úr þeim síðar meir eftir þessari nýju aðferð fyrir augum. Það áttak hefst á yfirstandandi ári og verður unnið í samvinnu við virkjunaraðila. Búið er við að það standi um allmörg ár.

Á árinu var líka undirbúin rannsókn á umhverfisáhrifum af vinnslu jarðvarma, einkum úr háhitasvæðum. Sú rannsókn hefst á yfirstandandi ári og verður unnin í samvinnu við þá sem nú nýta háhita hér á landi.

Á árinu voru í fyrsta sinni hér á landi gerðar viðnámsmælingar á svævipakinni jörð, með sva-nefndari TEM-aðferð. Með þessu móti margfaldast afköst við mælingarnar og túlkun þeirra verður einnig fljótlegri en eldri mælinga. Var mælt með þessum hætti m.a. á Ölkelduhálsi í Hengli og við Kröflu.

Hitaveitur víða um land voru aðstoðaðar við að kom á reglubundnu eftirliti með efnajafnvægi heita vatnsins og dælingu úr borholum; við afkastamælingar og við val á mæli- og tölvubúnaði til sjálfvirkrar gagnaskráningar. Stofnunin annaðist, eins og áður, eftirlit með vinnslu á háhitasvæðum fyrir virkjunaraðila. Fram fóru rannsóknir á lághitasvæðum fyrir hitaveitur víða um land; þar á meðal á eldri vinnslusvæðum Hitaveitu Reykjavíkur og fyrir Hitaveitu Akureyrar.

Lokið var við könnun á orkunýtingu hitaveitna, í samvinnu við Iðnaðarráðuneytið og Samband íslenskra hitaveitna; við rannsókn á jarðgasi í Öxarfirði og á mangangrýti á Reykjaneshrygg. Úrvinnsla úr gögnum frá þessum rannsóknum stendur sumpart enn yfir.

Þrettán styrkþegar frá nýu löndum útskrifuðust úr Jarðhitaskólanum. Rektor Háskóla S.Þ. í Tórkó heimsótti skólann á árinu, í fyrsta sinn í sögu hans.

2.3 Orkubúskapur

Gagnasöfnun um orkumál var með svipuðum hætti á árinu og undanfarin ár. Í byrjun árs var gefin út skýrsla um orkuverð á Íslandi; lagðar voru fram upplýsingar á fundum og þingum orkuveitusambandanna og slíkar upplýsingar um íslensk orkumál sendar ýmsum alþjóðlegum stofnunum og samtökum, svo sem Sameinuðu þjóðunum, Efnahags- og þróunarstofnun Evrópu (OECD), Alþjóðlega orkuráðinu (WEC), NORDEL og norrænum samstarfsaðilum á vegum Norrænu ráðherranefndarinnar.

Unnið var áfram á árinu fyrir Orkuspárnefnd að nýrri raforkuspá og spá um orkunotkun til húshitunar. Báðar þessar spár verða væntanlega gefnar út vorið 1992.

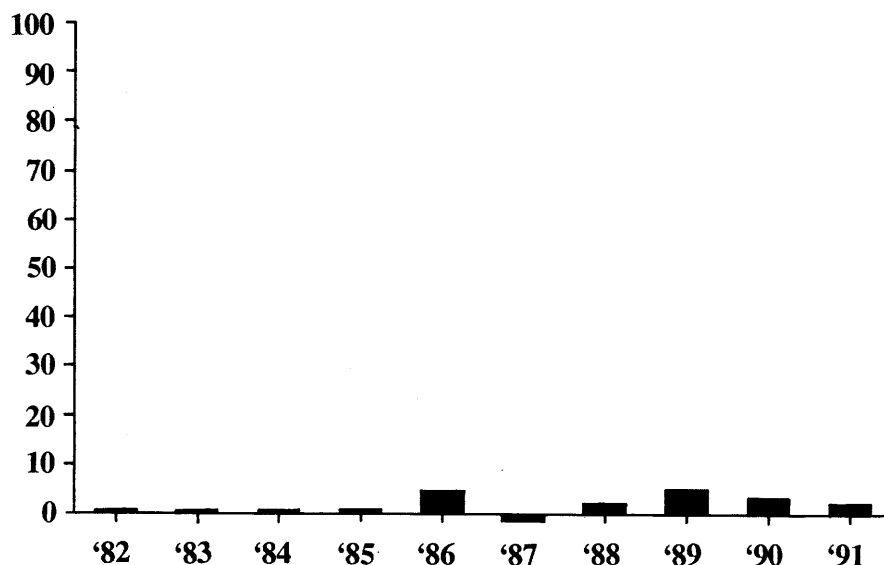
Starfsmenn Orkustofnunar lögðu fram samtals 13 erindi á Orkuþingi 91 sem haldið var í Reykjavík í nóvember 1991, af 81 erindi alls á þinginu.

2.4 Fjármál

Ekki get ég skilist svo við starfsemi Orkustofnunar á árinu 1991 að ég minnst ekki á fjármál hennar með nokkrum orðum. Útgjöldin 1991 námu alls 386,6 milljónum króna, sem er 9,4 % hærrí fjárhæð að raunvirði en árið áður. Fjárveitingar og sértekjur námu 383 Mkr., eða 9,6 % meiru að raunvirði en 1990. Á árinu varð þannig 3,6 Mkr. rekstrartap, eða 0,94 % af tekjum. Ég tel að þetta sé eins nálægt því og með nokkurri sanngirni verður krafist að heildargjöld og heildartekjur séu í jafnvægi. Það tókst að halda höfuðstól í árslok 1991 jákvæðum um 1,9 % af tekjum ársins borið saman við +3,2 % í árslok 1990. 1. mynd sýnir höfuðstól Orkustofnunar í árslok síðastliðin 10 ár í % af tekjum hvers árs.

SSD-300-JB
92.05.0258-H

% af tekjum



1. mynd. Höfuðstóll Orkustofnunar í hlutfalli við tekjur ársins 1982-1991.

Nýlega birtust í fjölmiðlum fréttir af því að stofnunin hefði samkvæmt skýrslu Ríkisendurskoðunar, tekið 47,2 Mkr. út úr ríkissjóði umfram fjárlagaheimildir. Af fréttinni varð ekki séð annað en að stofnunin hefði eytt þessum 47,2 Mkr. Umframeyðslan var hinsvegar áðurnefnt 3,6 Mkr. rekstrartap ársins, en ekki 47,2 Mkr. Af þeim 43,6 Mkr. sem eftir eru fóru 19,0 Mkr. aftur í ríkissjóð til greiðslu á eldri skuld en 24,6 Mkr. voru í sjóði Orkustofnunar um áramótin sem rekstrarfé. Sá sjóður er alfarið eign ríkissjóðs. Þess er hvergi getið í skýrslu Ríkisendurskoðunar. Hefði maður þó haldið að sú ágæta stofnun léti sig það einhverju varða hvort fé ríkisins er eytt eða það liggur í sjóðum í eign ríkisins. Svona framsetning er Ríkisendurskoðun ekki sæmandi.

3. NÝTING ORKULINDANNA Í FRAMTÍÐINI OG NAUÐSYNLEGAR UNDIRBÚNINGSRANNSÓKNIR

3.1 Inngangur

Ég ætla nú að snúa mér frá fortíðinni til framtíðarinnar og ræða það mál sem felst í heiti þessa erindis míns.

Á árfundi Orkustofnunar 1991 brá ég upp sviðsmynd af hugsanlegri nýtingu orkulindanna árið 2030. Ég tók skýrt fram að það sem ég þar segði bæri ekki að líta á sem spá heldur sem sviðsmynd af stöðunni á þessum tíma, eina af mörgum hugsanlegum.

Ég ætla nú að halda áfram að fjalla nokkuð um þessa sviðsmynd. Mér þykir ástæða til að taka enn á ný skýrt fram að hér er ekki um spá að ræða þar eð til eru menn sem hafa kosið að taka ekki eftir þessum fyrirvara mínum og hafa m.a. hermt upp á mig spádóma um vetnisframleiðslu hér á landi. Engin slík spá er til frá minni hendi.

Þessi sviðsmynd gerði ráð fyrir að raforkuvinnsla á Íslandi næmi alls 42,9 TWh af fastaorku árið 2030, sem skiptist þannig eftir notkunarflokkum :

Almenn notkun	4,8	TWh/a	11,2	%
Raforkufrekur iðnaður	23,1	-	53,8	-
Útflutningur á raforku	15,0	-	35,0	-
	-----		-----	
Samtals	42,9	TWh/a	100,0	%

Sambærileg tala fyrir 1991 er 4,0 TWh.

3.2 Þróunin fram til 2030

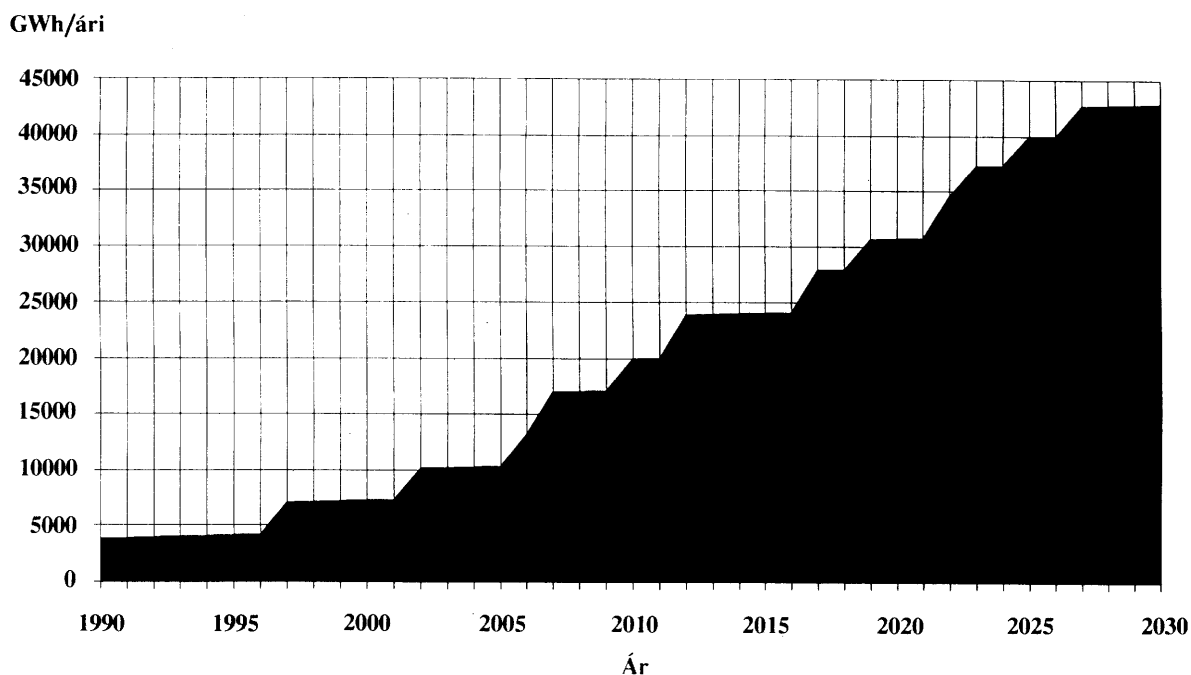
Hvernig verður nú vöxtur raforkuvinnslunnar frá 4,0 TWh/a 1991 í 42,9 2030 ? Við því eru að sjálfsögðu óteljandi svör hugsanlegt, en eitt gæti verið það sem 2. mynd sýnir. Er þar búið að taka tillit til að álverið á Keilnesi kemur ekki í rekstur 1995 eins og vænst var, heldur seinna.

Í stuttu máli sagt er þar gert ráð fyrir að álvinnsla og/eða annar rafmálmiðnaður standi undir þessum vexti fram yfir miðjan fyrsta áratug næstu aldar; slíkur iðnaður ásamt útflutningi á raforku þaðan í frá og fram um lok annars áratugarins, en rafefnaiðnaður, eins og til dæmis vetnisfram-

leiðsla, ásamt nokkrum útflutningi, á þriðja áratugnum. Eftir þeim bestu upplýsingum sem ég hef undir höndum er þess varla að vænta að vetni ryðji sér að neinu ráði til rúms sem orkuberi fyrr en á þriðja áratug næstu aldar. Um það mun ég fjalla nánar síðar.

Um þessa þætti í eftirspurninni fram til 2030 ætla ég nú að fara nokkrum orðum.

SSD-300-JB
92.05.0260



2. mynd. Hugsanleg þróun raforkuvinnslu á Íslandi fram til 2030.

3.2.1 Álvinnsla og annar rafmálmiðnaður

Hér er um þekktar og hefðbundnar afurðir og vinnsluaðferðir að ræða. Þótt álverinu á Keilisnesi seinki nokkuð er ekki ástæða til að gera ráð fyrir öðru en að framhald verði á vexti áliðnaðar hér á landi til lengri tíma litið, því að spáð er vaxandi eftirspurn eftir áli í framtíðinni af þeim sem best þekkja til þess markaðar, jafnframt því sem reikna má með samdrætti í álvinnslu í löndum þar sem framleiða þarf raforkuna til hennar úr eldsneyti. Á Íslandi eru skilyrði til álvinnslu líka betri en í mörgum öðrum löndum, m.a. vegna þess að vinnsla raforkunnar til hans veldur þar ekki gróðurhúsaáhrifum. Af öðrum hugsanlegum rafmálmiðnaði má nefna vinnslu á kísiljárnri sem nú þegar er framleitt á Grundartanga, á kísilmálmi eins og ráðgert var að framleiða á Reyðarfirði, á magnesíum og fleiri slíkum afurðum.

3.2.2. Útflutningur á raforku

3.2.2.1 Almennt

Sem fyrr segir gerði ég í áðurnefndri sviðsmynd af stöðunni 2030 ráð fyrir að útflutningur á raforku nemi þá orðið 15 TWh/a, sem samsvarar 2000 MW flutningsafköstum eða fjórum sæstrengjum miðað við núverandi tækni.

Um þennan raforkuútflutning hefur mikið verið rætt að undanfögnu. M.a. flutti Halldór Jónatansson, forstjóri Landsvirkjunar, mjög fróðlegt erindi um hann á Orkuþingi í nóvember s.l. Sem stendur getur raforka frá Íslandi ekki keppt á breska raforkumarkaðinum, en mörg teikn eru á lofti um að það muni breytast í framtíðinni. Á breska markaðinum - og raunar um alla Evrópu - munu tvö öfl takast á um raforkuverðið í framtíðinni, nfl. strangari umhverfiskröfur til eldsneytiskyntra rafstöðva og ný vinnslutækni raforku úr jarðgasi og kolum. Það er óvissa um hve miklar umhverfiskröfurnar verða og hve fljótt þær taka gildi og það er líka óvissa um hve mikið ný tækni megnar að vega á móti og hve hratt hún getur komið í gagnið. Líklegt er þó að rafmagnsverðið fari hækkandi, en það bætir samkeppnisstöðu okkar. Flestir eru á einu máli um að þess sé tæplega að vænta að raforka frá Íslandi verði raunhæfur kostur á breska raforkumarkaðinum fyrr en einhverntíma á fyrsta áratug 21. aldar. Út frá því er gengið hér að framan.

Hér koma líka til breytingar í viðskiptaháttum með raforku sem nú eru víða að ryðja sér til rúms og fela í sér að markaðsöflum og samkeppni er ætlað að móta þessi viðskipti í ríkari mæli en áður, sem aftur hefur í för með sér meira frjálsræði en áður í viðskiptum með raforku landa á milli. Raunar er þessi þróun ekki einskorðuð við raforku. Í desember síðastliðnum var svonefndur Orkusáttmáli Evrópu undirritaður í Haag í Hollandi af fulltrúum 48 ríkja, þar á meðal Íslands, og 2ja ríkjasambanda. Nú er einmitt að því unnið að binda í lögformlega milliríkjasamninga þær meginlínur sem sáttmálinn felur í sér, sem eru mikið til hinar sömu og felast í þeirri þróun í raforkumálum sem að ofan er nefnd, þ.e. stærri hlutur markaðsafla en áður, greiðari flutningar landa á milli og yfir lönd á orku og orkuafurðum; allt þó innan ramma fullveldis ríkja og fullveldisréttar þeirra á orkulindum sínum.

Þessi þróun getur auðveldað okkur að flytja út raforku. Þannig verður samkvæmt Orkusáttmála Evrópu, sem bæði Ísland og Bretland eru aðilar að, óheimilt að mismuna íslenskri raforku þar í landi í samanburði við breska fyrir þá sök eina að hún er aðflutt. Ef þau sammingsdrög á grundvelli Orkusáttmálans sem nú eru til skoðunar verða samþykkt verða eigendur breska raforkuflutningskerfisins meira að segja skyldir, með vissum takmörkunum, til að flytja raforku frá Íslandi um það til kaupenda í Bretlandi á sömu kjörum og gilda um flutning innanlands þar í landi. Þetta er vert að hafa í huga þegar rætt er um útflutning okkar á raforku. Þróunin virðist greinilega vera okkur í vil í því efni.

Mér þykir líklegt að útflutningur á raforku frá Íslandi hefjist með flutningi um einn streng einhverntíma á fyrsta áratug næstu aldar; ef til vill á síðari hluta hans. Fljótlega eftir yrði annar strengur lagður, og síðar fleiri; þar á meðal hugsanlega til Noregs einnig. Vel má hugsa sér að þessir strengir mynduðu síðar meir það sem kalla mætti Raforkukerfi Norður-Atlantshafs (RakNA). Ég hef leyft mér að bregða upp á 3. mynd hugmynd um slíkt kerfi eins og það gæti litið út á þriðja áratug næstu aldar.

3. mynd (sjá næstu síðu).

Hugsanlegt
**Raforkukerfi
Norður-Atlantshafs (RakNA)**

Staða snemma á 21. öld

- Riðstraumskerfi 400/420 kV
- - - Riðstraumskerfi 275/300 kV
- Rakstraumskerfi ± 400 kV
- - - Rakstraumskerfi ± 250 kV

3.2.2.2 Raforkukerfi Norður-Atlantshafs (RakNA)

Það er hugsað sem háspennu-rakstraumskerfi með mörgum endastöðvum. Það yrði að mestu gert úr sæstrengjum ásamt af- og áriðilstöðvum sem tengja þá við riðstraumskerfin í aðlægum löndum. Þessir sæstrengir lægju frá austurströnd Íslands um Færeyjar til Hjaltlands og þaðan til vesturstrandar Noregs annarsvegar og miðbiksins á austurströnd Englands hinsvegar (sjá 3. mynd).

Kerfið yrði byggt upp smám saman á fyrstu þremur áratugum næstu aldar eða svo.

Í Færeyjum yrðu a.m.k. sumir strengirnir teknir á land og þar yrði reist umbreytistöð frá rakstraumi í riðstraum til að sjá fyrir raforkuþörfum eyjanna.

Á Hjaltlandi yrði líka reist samskonar umbreytistöð sem gerði í senn mögulegt að taka raforku handa Hjaltlandi út úr kerfinu þar og að senda inn á það raforku sem framleidd væri í gaskyntum rafstöðvum þar.

Á Mið-Englandi yrði Norður-Atlantshafskerfið tengt við raforkuflutningskerfi Bretlandseyja og í Noregi tengdist það kerfinu í Suður-Noregi. Bæði þessi kerfi eru tengd meginlandi Evrópu, þannig að með þessu móti yrði Norður-Atlantshafskerfið hluti af samtengdu raforkukerfi Evrópu, og tengir Færeyjar og Ísland við það.

Að lokum vil ég minna á að auk þess að gera útflutning á raforku frá Íslandi mögulegan myndi slík tenging gera það mögulegt að nýta íslensku vatnsorkuna mun betur en unnt er meðan við erum einangruð. Meðan við erum það miðast orkugeta íslenska raforkuvinnslukerfisins við röð af þurrum árum sem koma mjög sjaldan. Með tengingunni ræðst orkugetan hinsvegar sem næst af meðal-vatnsárferði hér á landi vegna þess að í þurrum árum má draga úr útflutningi eftir fyrirfram umsamdri tilhögun og nota orkuna í ríkari mæli heima fyrir. Orkugetan kann að hækka um svo sem 15 - 20 % við tenginguna. Þeim áhrifum hennar má ekki gleyma.

Samnýting vatnsorku og háhita til raforkuvinnslu hefur áhrif í sömu átt.

3.2.3. Framleiðsla á vetni á Íslandi

Að undanförmu hefur talsvert verið rætt um framleiðslu á vetni hér á landi. Sumir hafa talið slíka framleiðslu æskilegri en t.d. framleiðslu á áli.

Við erum engir nýgræðingar í vetnisframleiðslu hér á Íslandi. Við höfum framleitt það í bráðum 40 ár í Áburðarverksmiðjunni í Gufunesi. Ég minni líka á að hér á landi er markaður fyrir vetni sem er stærri en innlenda framleiðslan. Við flytjum inn - í formi ammóníaks - um fjórðung af þörfum okkar. Það gerum við vegna þess að það er ódýrara að flytja inn ammóníak en að stækka vetnisverksmiðjuna í Gufunesi. Þetta er svona þrátt fyrir að rafmagnsverðið til Áburðarverksmiðjunnar hefur að undanförmu verið á bilinu 60 til 80 % af rafmagnsverði því sem ÍSAL hefur greitt, en það verð hefur mörgum þótt allt annað en hátt. Vetnisframleiðsla í nýrri vetnisverksmiðju í Gufunesi borgar sig þannig ekki þrátt fyrir mjög lágt raforkuverð. Þetta er sama niðurstaða og um allan heim. Rafgreining í nýjum verksmiðjum er ekki samkeppnisfær við aðrar aðferðir til vetnisframleiðslu við núverandi aðstæður. Hún er enn notuð þar sem stofnkostnaður hefur verið afskrifaður. Innan við 1 % af vetnisframleiðslu heimsins fer fram með rafgreiningu. Af þeim 40 - 50 milljónum tonna af vetni sem nú er notað í margvíslegum iðnaði í heiminum eru 76 % framleidd með jarðgasi og 23 % með olfu í svonefndri gufuummyndun, þ.e. með því að leiða vatnsgufu yfir glóð sem haldið er við með því að brenna gasi eða olfu.

Þetta er ekki vegna þess að rafgreining sé ný og vanþróuð vinnslutækni. Þvert á móti er hún margra áratuga gömul og á langa þróun að baki. Ýmsir hafa lengi látið sig dreyma um byltingarkenndar framfarir í rafgreiningartækni sem enn láta á sér standa. Verði þær að veruleika er enginn vafi á að vetnisframleiðandinn hér, Áburðarverksmiðjan, mun fylgjast vel með þeim og notfæra sér þær eftir því sem grundvöllur er fyrir því. Fáir búast þó við að slíkar endurbætur á rafgreiningu muni nægja til að gera hana samkeppnishæfa við gufuummyndunina að óbreyttu eða lítt breyttu verðlagi á jarðgasi. Veruleg verðhækkun á jarðgasi, tvö- til þreföldun á núverandi verði þess, er því forsenda fyrir því að rafgreining í nýjum verksmiðjum, byggð á vatnsorku, geti keppt við gufuumformun með jarðgasi.

Svo mikil verðhækkun á gasinu verður ekki, næstu hálfu öldina að minnsta kosti, vegna þess að birgðir jarðar af því séu á þrotum. Hún gæti hinsvegar orðið fyrir af völdum koltvísýringsskatta sem lagðir yrðu á gas eins og annað eldsneyti til að vinna gegn aukningu gróðurhúsaáhrifanna. Slíkir skattar yrðu þó lægri á jarðgasi en öðru eldsneyti vegna minni losunar á koltvísýringi við brennslu þess. Þegar þess er gætt, og svo hins, að langan tíma mun taka að ná samkomulagi landa á milli um slíka skatta, vegna efnahagslegra áhrifa þeirra, er ljóst, að það munu líða mörg ár áður en þeir ná að tvö- til þrefalda núverandi verð á jarðgasi. Sjáum við ekki fyrir okkur viðbrögð sjávarútvegsins á Íslandi ef leggja ætti háa skatta á olfuna sem hann notar og hann greiðir enga skatta af nú. Viðbrögð atvinnulífsins í öðrum löndum yrðu svipuð.

Eftir upplýsingum sem ég hef undir höndum frá mönnum sem lengi hafa unnið að rannsóknum á notkun vetnis sem orkubera, reikna þeir tæplega með slíkir skattar á jarðgasi verði orðnir nægilega háir til að gera rafgreiningu samkeppnishæfa við gufuummyndun með gasi eftir núverandi aðferðum fyrir en á öðrum og þriðja áratug næstu aldar.

En ekki er víst að þetta nægi einu sinni til að tryggja samkeppnisstöðu rafgreiningar. Tvö-til þreföldun á gasverðinu skapar nýtt samkeppnisumhverfi. Nýjar framleiðsluaðferðir, sem ekki þrífast í núverandi umhverfi, munu koma fram. Spurningin verður þá um stöðu rafgreiningar - eftir hugsanlegar framfarir í aðferðinni - í samanburði við þær nýju aðferðir. Sem dæmi um slíkar nýjar aðferðir má taka þá að vinna vetnið úti á gasvinnslusvæðunum og þrýsta koltvísýringnum, sem myndast við vinnsluna, niður í jörðina í stað þess að sleppa honum út í andrúmsloftið eins og nú er gert. Þar eð engum koltvísýringi er með þessu móti sleppt út í andrúmsloftið sleppur slík vinnsla alveg við skattinn. Tiltölulega litla tækniþróun þarf til að gera slíka vinnslutækni markaðshæfa þegar skatturinn kemur til. Ekki er gott að segja hvernig vinnslukostnaði vetnis með þessum hætti ber saman við rafgreiningu sem byggð er á vatnsorku, en ljóst virðist að þessi vinnsluaðferð getur orðið vatnsorkunni skeinuhættur keppinautur.

Á hverjum tíma verða ódýrustu framleiðsluaðferðirnar á vetni - þegar skattar eru reiknaðir með ráðandi. Þetta á einnig við þegar farið verður að nota það sem orkubera. Fyrir okkur Íslendinga þýðir þetta að við munum flytja inn það vetni sem við þurfum ef verð þess, að viðbættum flutningskostnaði til landsins, er lægra en framleiðslukostnaður þess hér innanlands. Og við munum flytja það út ef framleiðslukostnaður þess hér, að viðbættum flutningskostnaði frá landinu, er lægri en það verð sem vetnið er fánlegt fyrir þar ytra. Það er þannig vel hugsanlegt að við notum vetni sem orkubera hér á landi án þess að framleiða það allt sjálfir alveg eins og við notum það í dag til iðnaðar án þess að framleiða það allt sjálfir.

Niðurstaða mín er því sú, að það sé tæplega raunhæft að vænta þess að það muni borga sig að framleiða vetni á Íslandi í nýjum verksmiðjum, eða nota það sem eldsneyti, fyrir en undir lok annars áratugar næstu aldar, og hef ég reiknað með því í þeirri framtíðarmynd af þróun raforku-

vinnslu á Íslandi sem ég hef hér rætt um.

3.3 Nauðsynlegar undirbúningsrannsóknir

Að endingu vil ég ræða nokkuð um nauðsynlegar undirbúningsrannsóknir undir þá nýtingu orkulindanna sem ég hef hér gert að umtalsefni og 2. mynd sýnir. Ég vil jafnframt leggja á það áhersu að þessar rannsóknir koma einnig að notum þótt nýtingin verði með eitthvað öðrum hætti en þessum. Þannig myndu t.d. rannsóknir á háhita til raforkuvinnslu einnig nýtast þótt háhitasvæðin væru nýtt til iðnaðar í staðinn.

3.3.1 Vatnsorkurannsóknir

Undirbúningsrannsóknnum undir virkjun vatnsorku má skipta í tvö megin svið, *almennar vatnamælingar* og *aðrar vatnsorkurannsóknir*. Til síðari flokksins teljast einnig svonefndar sérhæfðar vatnamælingar sem eru liður í nánari undirbúningi einstakra virkjunarstaða. Vatnamælingar tengdar rekstri vatnsorkuvera koma til eftir að búið er að virkja og teljast því ekki til undirbúningsrannsókna. Þær eru alfarið kostaðar af virkjunaraðila þótt Orkustofnun annist suma þætti þeirra eftir sérstökum samningum. Almennar vatnamælingar eru hér taldar sér vegna þess hve langan tíma, 30 ár eða lengur, þær þurfa að standa til að traustar ályktanir verði af þeim dregnar um orkugetu virkjana.

Öðrum vatnsorkurannsóknnum er heppilegt að skipta í tvo áfanga, eða stig. Samkvæmt Orkulögum annast Orkustofnun á sinn kostnað fyrra stigið, auk almennra vatnamælinga. Þegar frá eru taldar vatnamælingarnar, sem taka mjög langan tíma, lætur nærri að fyrra þrepið taki um 65 % undirbúningsstímans undir vatnsaflsvirkjun. Kostnaður við það er hinsvegar oftast um og undir 15 - 20 % undirbúningskostnaðarins í heild. Það er því lykilatriði að þetta tímafreka, en tiltölulega ódýra, fyrra þrep sé ekki dregið svo að það tefji virkjun. Enn brýnna er að vatnamælingum sé sinnt nægilega snemma.

Þótt Orkustofnun kosti þetta fyrra rannsóknarþrep af fjárveitingum gera Orkulög ráð fyrir endurgreiðslu þessa rannsóknarkostnaðar þegar/ef virkjun tekur til starfa sem hönnuð er á grundvelli þessara rannsókna. Þessi endurgreiðsla fer aðeins fram í þeim tilvikum þegar rannsóknirnar leiða í ljós að um hagkvæma virkjun er að ræða og ráðist er í byggingu hennar. Á sumum stöðum er niðurstaðan neikvæð og aldrei er virkjað þar. Þá ber ríkið endanlega kostnaðinn.

Til þess að nægur tími sé til hönnunarrannsókna, lokahönnunar, útboðs og framkvæmdar á virkjun þarf Orkustofnun að hafa lokið þessum hluta undirbúningsrannsóknanna sem hún kostar 12 árum áður en vatnsaflsvirkjun tekur til starfa. Miðað við þá forsendu þarf hún að ljúka rannsókn á virkjunarstöðum með samanlagða afkastagetu eins og hér segir til þess að mæta þeirri þróun raforkuvinnslu á Íslandi sem 2. mynd gerir ráð fyrir ef henni verður allri mætt með virkjun vatnsorku :

Nú þegar	5400	GWh/a
Fram til ársloka 1994	2900	-
1994 - - 1995	3900	-
1995 - - 1998	2900	-
1998 - - 2000	4000	-
2000 - - 2005	3900	-
2005 - - 2007	2800	-
2007 - - 2010	3800	-
2010 - - 2011	2700	-
2011 - - 2013	2700	-
2013 - - 2015	2900	-

Það lætur nærri að Orkustofnun hafi lokið sínum rannsóknarhluta á þeim 5400 GWh/a sem samkvæmt ofansögðu þarf að vera lokið nú þegar, þannig að staðan nú er nokkurn veginn í samræmi við 2. mynd. Þar til viðbótar þarf að ljúka rannsókn á virkjunarstöðum með 2900 GWh/a orkugetu til viðbótar fyrir 1994 og á öðrum með 3900 GWh/a fyrir 1995. Það er því þörf á verulegu átaki í vatnsorkurannsóknum á næstu árum. Fyrsti áfangi þess er áformaður á þessu ári. Raunar þarf nýtt átak að taka við eftir 1995, því að samkvæmt ofansögðu þarf að ljúka rannsókn á virkjunarstöðum með 6900 GWh/a afkastagetu frá árslokum 1995 til aldamóta.

Ef við í bili látum okkur nægja að líta á tímann fram til aldamóta þarf Orkustofnun á þeim tíma að ljúka sínum rannsóknarhluta á virkjunarstöðum vatnsorku með samanlagða orkugetu er nemur 13700 GWh/a. Virkjun þeirra staða nægði til ársins 2012.

3.3.2 Háhitarrannsóknir

Samkvæmt 2. mynd munum við hafa nýtt um 20 TWh/a árið 2010. Ég geri ráð fyrir að þessi raforka verði að yfirgnæfandi hluta unnin úr vatnsorku. Raforka úr háhita er örugglega dýrari en úr ódýrasta hluta vatnsorkunnar. Það yrði einmitt sá hluti sem nýttur yrði á þessu tímabili. En eftir því sem gengið er á vatnsorkuna verður sá hluti hennar sem eftir er smám saman dýrari. Þar mun því koma að raforka úr ódýrasta hluta háhitans verður ódýrari en úr þeirri vatnsorku sem óvirkjuð er. Þegar svo er komið er ekki ólíklegt að um verulega virkjun háhita geti orðið að ræða á tiltölulega skömmum tíma, meðan ódýrasti hluti hans er nýttur.

Hvenær raforka úr háhita verður ódýrari en úr vatnsorku verður ekki sagt með þeirri þekkingu sem við nú höfum á þessum tveimur aðalorkulindum okkar. Til stendur að á þessu ári fari fram hagkvæmnismat á því nýtingarkerfi á háhita sem ég minntist á. Þegar því er lokið munum við standa nær því en nú að bera þessar orkulindir saman til raforkuvinnslu. Þess er þó ekki að vænta að það mat segi nákvæmlega til um hvenær þessi kostnaðarumskipti verða. Samt þykir mér ekki ólíklegt að það gæti gerst í kringum 2010 með þeim nýtingarhraða sem 2. mynd felur í sér.

Meginatriðið í hinu nýja nýtingarkerfi á háhita er það, að mörg vinnslusvæði háhita eru höfð undir í einu og að menn þreifa sig áfram á hverju um sig, þ.e. nota reynsluna af einni virkjun til að ákveða hvort og hvenær fleiri stöðvar verða reistar á sama vinnslusvæði.

Virkjun háhita eftir hinu nýja nýtingarkerfi í nægilega stórum stíl til að um hana muni í raforkuvinnslu eins og þeirri sem 2. mynd gefur til kynna krefst því þess að mörg vinnslusvæði séu samtímis í virkjun. Sem betur fer eigum við nægilega mörg háhitasvæði á Íslandi til þess að svo megi verða. En til þess þarf að kanna þau mun betur en gert hefur verið. Til þessa hafa einungis örfá af háhitasvæðum landsins verið rannsökuð að heitið geti. Það er því mín skoðun að við eigum að búa flest háhitasvæði landsins undir fyrstu borun á næstu 12 árum eða svo; fram til 2004, þar sem það hefur ekki þegar verið gert. Með því búum við í haginn fyrir að nýting þeirra í stórum stíl geti hafist upp úr 2010. Þær rannsóknir sem til þarf til að þetta markmið náist eru ódýrar í samanburði við boranir. Kostnaðarins vegna er æskilegt að boranir hefjist eins skömmu fyrir virkjun og fært er, en samt nægilega snemma til að ráðrúm sé til að bregðast við ef árangur borunar er lakari en vænst var.

Einnig á háhitasviðinu er þannig þörf á átaki í rannsóknum; átaki sem raunar hefst í smáum stíl á þessu ári, m.a. með áðurnefndri úttekt á hagkvæmni raforkuvinnslu úr háhita eftir hinu nýja nýtingarkerfi. Þetta átak þarf síðan að standa jafnt og þétt fram yfir aldamót.

Góðir áheyrendur ! Ég hefi lokið máli mínu og þakka áheyrnina.

Hlutur grunnvatns í vatnsafl

Freysteinn Sigurðsson
jarðfræðingur á Orkustofnun

1. VATNSAFL OG GRUNNVATN

Grunnvatn er mjög mikilvægt fyrir vatnsafl landsins. Um fimmtungur alls afrennslis af landinu á rót sína að rekja til lindasvæða. Svipað hlutfall vatnsafls landsins virðist flæða frá vatnsmiklum lindasvæðum.

Hlutdeild grunnvatnsins í vatnsaflinu er sú, að það leggur til grunnþáttinn í vatnsorku margra fallvatna. Vatnsorkan er í raun ekki annað en fallorka úrkomunnar á leið hennar frá lendingarstað á jörðu til sjávarmáls.

Vatnsorkan er mest, þar sem úrkoma er mikil og land hátt. Flæði jökulss og grunnvatnsstreymi flytja úrkomuvatnið oft langar leiðir, áður en það kemur fram í fallvötnum. Mest er úrkoman á jöklum landsins, en undirlag þeirra hefur hlaðist upp við eldgos á síðkvarter-tíma. Þeim tengjast víða vel lek jarðlög með miklu grunnvatnsstreymi. Virkjun fallvatnanna er yfirleitt hagkvæmust fram af hálendisbrúninni.

Fallvötnin eru af ýmsum toga, sem kunnugt er: Dragár, lindár og jökulár. Í dragám gætir mest yfirborðsvatns, sem streymir nær viðstöðulaust fram eftir úrkomu. Vatnsmegin (rennsli, Q í m^3/s) í jökulám er mest á sumrin, þegar jökulleysingar gætir. Vatn það, sem sígur í jörðu, á sér ógreiðara rennsli, rennur hægar og skilar sér á lengri tíma og jafnara en annað vatn. Hér á landi er mikið um lek jarðlög, einkum á síðkvarteru gosbeltunum, og grunnvatnsstreymi að sama skapi mikið. Grunnvatnsmegin landsins er sennilega meira en $1.000 m^3/s$, þar af $200 - 300 m^3/s$ undan jöklum landsins. Grunnvatnið er því um $1/5$ afrennslis af landinu öllu. Fá lönd eru hlutfallslega auðugri að lindavatni en Ísland.

Gerð vatna og rennslishegðun (vatnagerð) einkennist ekki síst af skilatíma vatnsins, frá því að það fellur sem úrkoma og þar til það kemur fram í fallvötnunum. Vatn hefur oft stutta viðstöðu í jarðvegi og öðrum lausum jarðlögum á yfirborði, einkum ef land er hallandi og undirlagið þétt. Skilatími grunnvatnsins er mjög mismunandi, eftir því hversu djúpt í jörðu það hefur farið, hversu langar rennslisleiðir þess eru og hversu lek (permeabel) jarðlögin eru.

Grunnvatn úr dýpri jarðlögum (einkum úr bergi og sprunguskörum) hefur mjög stöðugt vatnsmegin ("rennsli", Q í m^3/s , l/s) og ástand (hiti, efnainnihald) yfir hvert ár, þó að sveiflur kuni að vera á þeim þáttum til enn lengri tíma. Það myndar því stöðugan grunnþátt í vatnsmegin fallvatna. Meiri sveiflur og óreglulegri eru á grunnvatni úr yfirborðslögum, en mestar þó á vatni, sem rennur beint af á yfirborði. Snjór og jöklar valda tímabundnum töfum á framrennsli úrkomuvatns,

sem eru að miklu leyti árstíðabundnar.

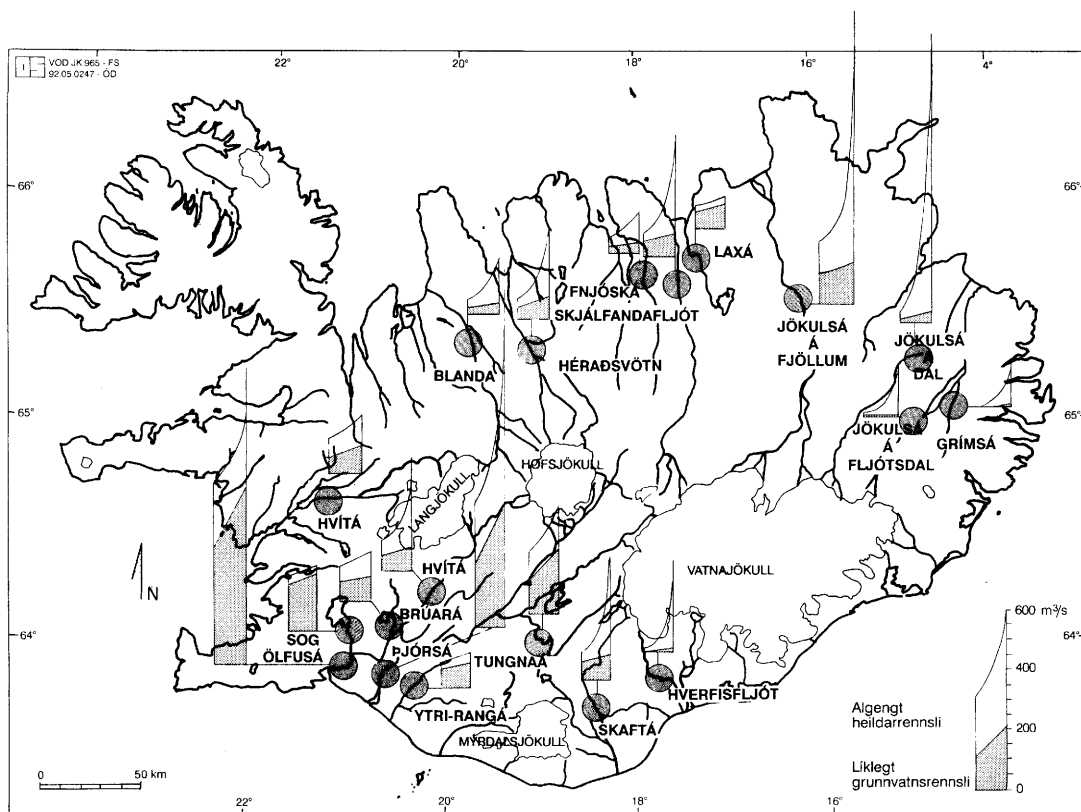
Sumar stórar renna af landi, þar sem berg er þétt og lítið um laus jarðlög t.d. Jökulsá á Dal eða á Brú. Þar skortir grunnvatnsþáttinn að mestu, en úrkomuflóð og jökulleysing eru allsráðandi. Aðrar stórar koma af landi, þar sem jarðlög eru hriplek og grunnvatnsþátturinn öflugur t.d. Jökulsá á Fjöllum. Flestar stærstu ár landsins koma af hinum ungu (súðkvarteru) gosbeltum landsins. Þar eru jarðlög iðulega lek og því öflugur grunnvatnsþáttur í þessum ám.

Grunnvatnsþátturinn er ríkjandi í Ölfusá og verulegur í öðrum stærstu ám eins og Þjórsá, Skjálfandafljóti, Jökulsá á Fjöllum og Skaftá.

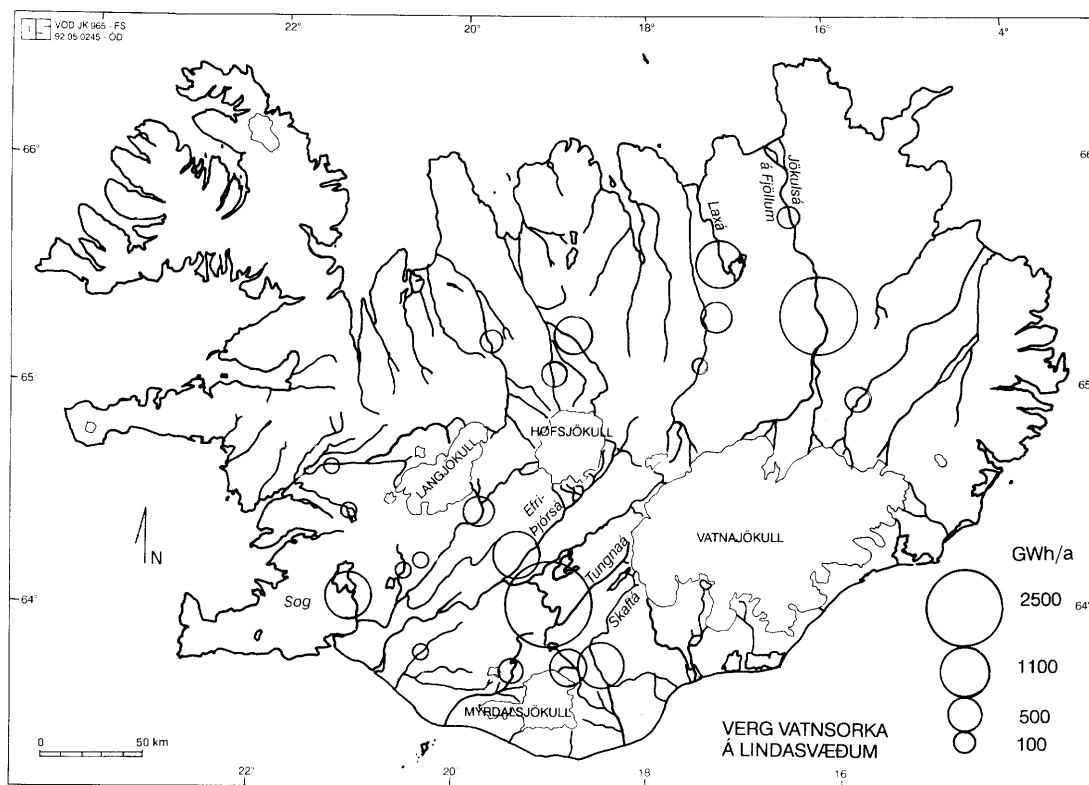
Mikið vatnsmegin er þó ekki nóg til orkumyndunar, því að landhæð uppsprettulinda grunnvatnsins ræður miklu um vatnsafl það, sem streymir frá lindasvæðunum.

Vatnsgæf lindasvæði eru í 300 - 700 m hæð yfir sjó á hálandinu. Verg vatnsorka þessarra lindasvæði er veruleg. Á stærstu lindasvæðunum er hún á bilinu 500 - 3.000 GWh/a. Samanlögð er verg vatnsorka svæða með um eða yfir 100 GWh/a a.m.k. 10.000 GWh/a, eða um fimmtungur af hagnýtri vatnsorku landsins.

Fallvötn frá lindasvæðum, hreinar lindár, voru meðal fyrstu stórána, sem virkjaðar voru: Sog, Laxá í Aðaldal. Vatnsmegin þessarra fallvatna er stöðugt og miðlunarþörf lítil sem engin. Öðru máli gegnir um þau fallvötn, sem eru grunnvatnsrýr og miklum sveiflum undirorpin. Þar þarf að miðla vatni. Miðlunarþörf er mest við virkjun þeirra vatna, þar sem vatnsmeginssveiflur eru árstíðabundnar, einkum í jökulánum. Í þeim er sumarrennsli jafnan nokkuð tryggt, en svo er ekki með dragárnar. Þar eru sveiflur óvissari og nýting miðlunar að sama skapi.



1. mynd. Grunnvatnsþáttur í meginvatnsföllum.



2. mynd. Vatnsorka vatnsgæfra lindasvæða.

2. GRUNNVATNSGREINING

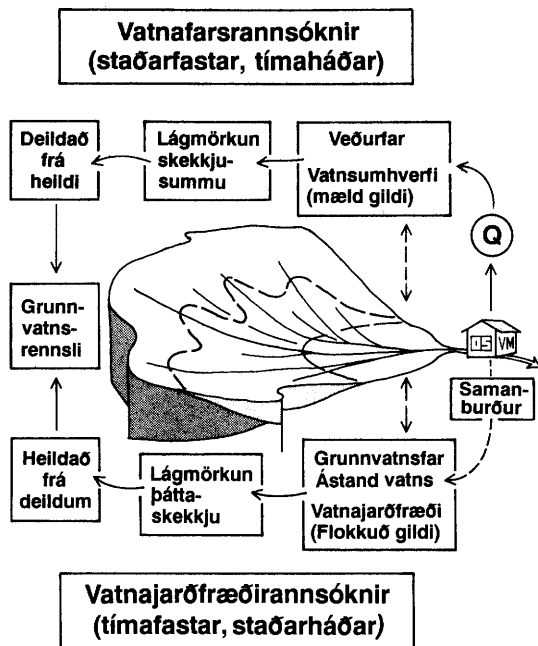
Þýðing grunnvatnsins er mikil fyrir virkjun fallvatna. Það er því nauðsyn að þekkja til grunnvatnspáttar þeirra vatna, sem virkja skal. Til þess þarf að rannsaka grunnvatnið á viðeigandi hátt og frá ýmsum hliðum. Tvennar leiðir eru þýðingarmestar: Frá almennu vatnafari svæðisins (vatnafarsrannsóknir) og frá vatnajarðfræðilegri gerð hlutaðeigandi svæðis.

Vatnafarsgreining byggir að mestu á mældum eða nákvæmt metnum stærðum, staðarföstum en tímaháðum (vatnsmegin, veðurfar), sem eru safngildi eða eiga að vera einkennisgildi fyrir stór svæði. Með deilingu (eða deildun) er reynt að meta safngildi eða einkennisgildi fyrir hlutsvæði þessaa svæða, á gefnum fræðilegum forsendum.

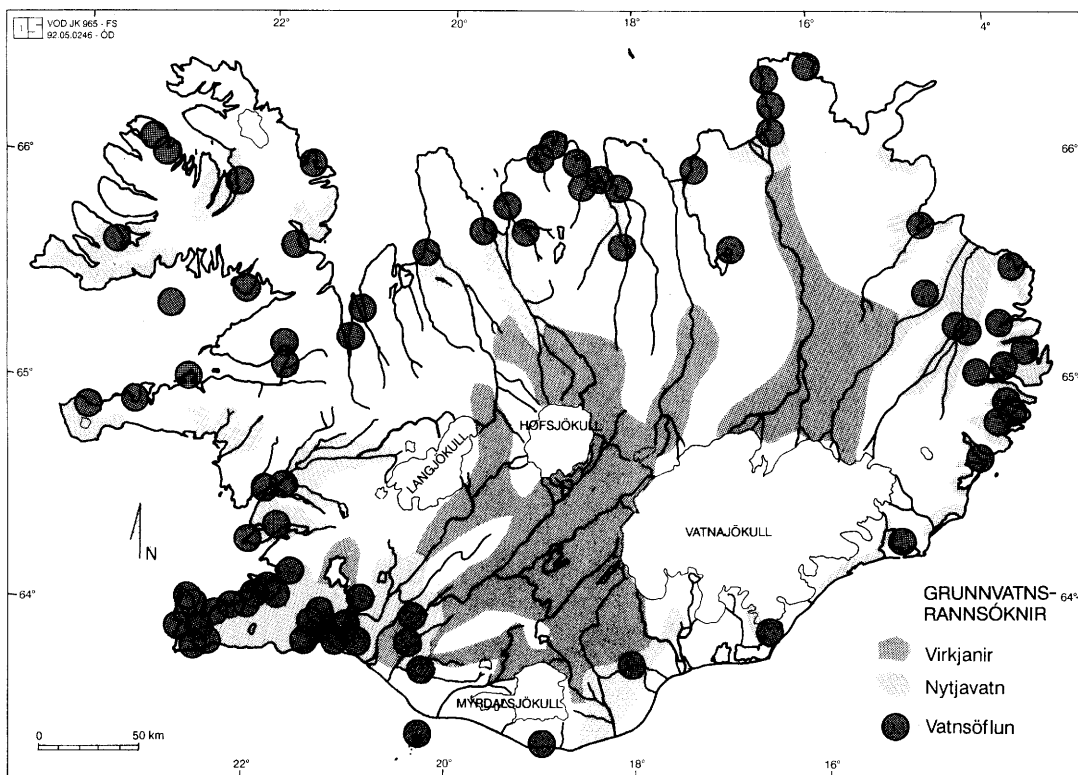
Vatnajarðfræðigreining byggir að hluta til á mældum stærðum en að hluta til á metnum eða flokkuðum stærðum. Þessar stærðir eru mismunandi frá stað til staðar, en breytast hægt eða lítið með tíma. Með samlagningu (eða heildun) er reynt að meta safngildi eða einkennisgildi hlutsvæða og heildarsvæðis.

Á báðum þessum leiðum þarf að velja forsendur og velja gildi, sem sett eru inn í reikninga. Þar eru því skekkjuvaldar til staðar. Aðrir skekkjuvaldar liggja í ónákvæmni upplýsinga og vanþekktum áhrifum stærða hverja á aðra. Með samstillingu beggja leiða má iðulega koma auga á líklegar skekkjur og oft leiðréttá þær. Í reynd er slíkri samstillingu beitt í sífellu, hvor leiðin sem er valin til rannsóknar hverju sinni.

VOD JK 965 FS
92.03.0132 Gyða



3. mynd. Grunnvatnsgreining.



4. mynd. Staðþekkingargrunnur Orkustofnunar á grunnvatni.

Hér verður ekki fjallað nánar um vatnafarsgreininguna, en hún lýtur fyrst og fremst að þáttum og einingum vatnshags (vatnabúskapur, "hydrological regime") í tíma og rúmi á grundvelli mældra, metinna og reiknaðra gilda. Einu nákvæmu mældu gildin eru vatnsmeginsmælingar (rennslismælingar, síritanir) á fallvötnum. Úrkomumælingar eru með vissum kerfisskekkjum, auk þess sem gildi úr þeim þarf að yfirfæra frá föstum stöðum og dreifa á heilu vatnasviðin. Gildi annarra stærða eru enn ónákvæmari, t.d. vatnshagur jöklanna, en grunnvatnsmeginið er á vissan hátt afgangssterð. Grunnvatnið er heldur ekki beint aðgengilegt né mælanlegt í djúpum jarðar. Vatnafarsgreiningin er fyrst og fremst í höndum Vatnamælinga Orkustofnunar, en vatnajarðfræðin í höndum jarðfræðinga hennar. Það er því ekki að undra, þó samstilling beggja rannsóknarleiða sé glögg og náin á Orkustofnun.

Hér verður dregið stuttlega á vatnajarðfræðilegu rannsóknaleiðina. Grunnur hennar eru viðtekin og almenn fræði um greinina, niðurstöður úr sérrannsóknnum ýmissa aðila hér á landi og umfangsmiklar svæðis- og staðarrannsóknir Orkustofnunar víða um land.

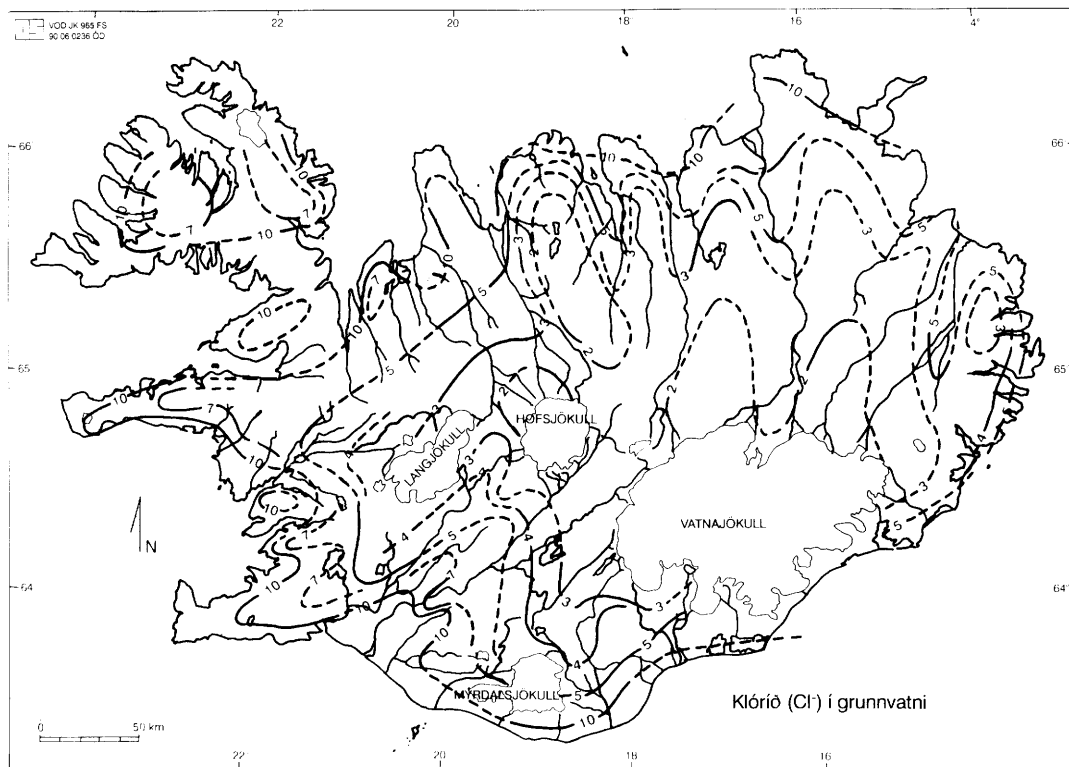
Þekking á grunnvatni á hálendinu stafar frá rannsóknnum á vatnasviðum virkjunarvatna, en í byggð á sambærilegum rannsóknnum vegna neysluvatns og annars nytjavatns. Orkustofnun býr yfir langviðamestum og fjölbreytilegustum þekkingargrunni um grunnvatn á landinu, og er raunar eina stofnun landsins, sem hefur slíkan grunn, svo gagn sé að.

Meginþættirnir í hinni vatnajarðfræðilegu greiningu eru þrír: Athuganir á grunnvatnssuppsprettum, könnun ástands grunnvatns (hiti, efni), könnun og mat á vatnajarðfræðilegum aðstæðum. Þessa þætti er reynt að tengja í samræmda mynd af grunnvatnsstraumum, sem síðan er samskoðuð við niðurstöður vatnafarsgreininga og samstillt við þær. Athuganir á grunnvatnssuppsprettum hafa einkum beinst að vatnsmiklum lindum og lindasvæðum. Nokkuð vantar enn á, að þau hafi öll verið könnuð á viðunandi hátt, einkum hvað varðar hægar breytingar með tíma. Í tímans rás hafa samt safnast verulegar upplýsingar um vatnsmegin lina og um leið fengist visst yfirlit um grunnvatnsvatnsmegin þessarra svæða. Vatnsgæfu lindasvæðin eru tengd síðkvarteru gosbeltunum og koma einkum fram á mörkum þeirra við eldri og þéttari jarðmyndanir.

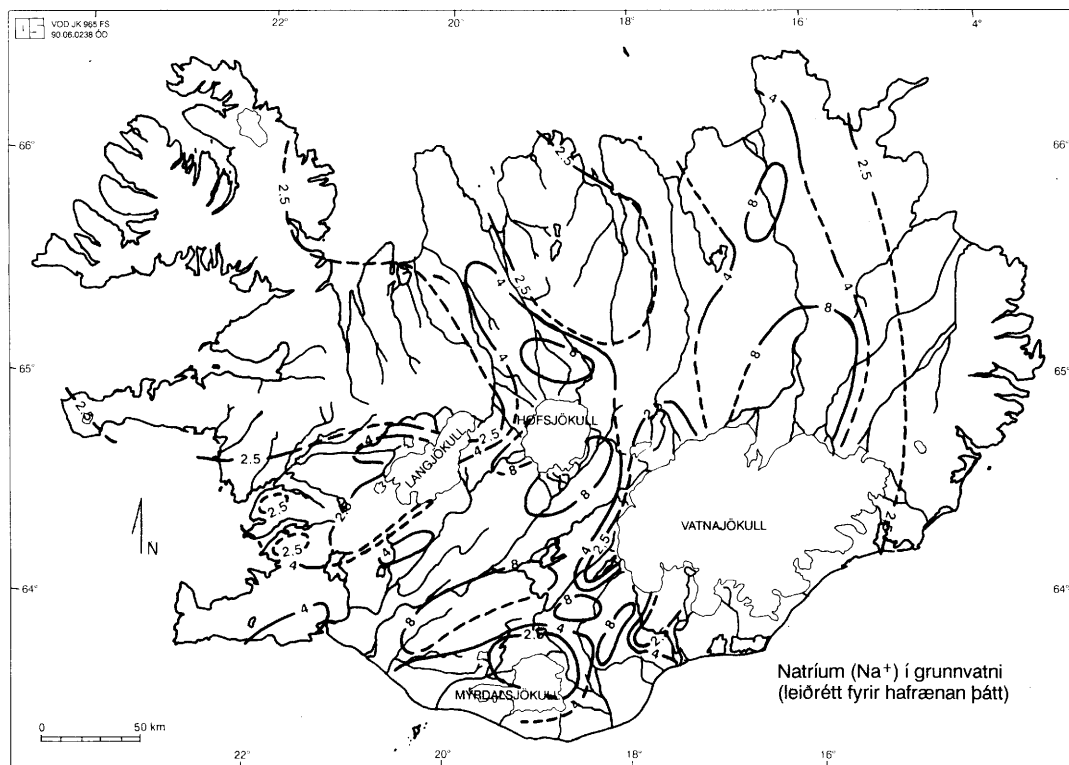
Helstu upplýsingar um grunnvatnssuppsprettur eru staðsetning, vatnajarðfræðilegar aðstæður, vatnsmegin og breytileiki þess og ástand vatnsins. Enn hefur ekki unnist tími til að sinna grunnvatni úr jarðvegi og öðrum jarðlögum á yfirborði sem skyldi. Rannsóknir á þeim þáttum eru þó nauðsynlegar til að þrengja óvissubilið á þeim í grunnvatnsreikningum.

Skipuleg og fjölþætt könnun á ástandi grunnvatns á hálendinu hófst ekki að marki, fyrr en upp úr 1980. Sú könnun hefur þegar skilað umtalsverðum árangri þó mikið sé ókannað enn. **Hiti grunnvatns** gefur ábendingar um upphaflegan hita þess og feril þess í jörðu. **Efnainnihald** í grunnvatni er að hluta til ættað úr úrkomunni, en að hluta til orsakað af efnaskiftum við jarðlögin og vegna annarra jarðfræðilegra áhrifa í jörðu og á. Reynslan sýnir, að svæðis- og staðardreifing gilda fyrir hina ýmsu ástandspætti eru yfirleitt í góðu samræmi við fræðilegar forsendur. Mæld og greind gildi má því með verulegri sanngirni túlka til að skýra uppruna og feril grunnvatnsins.

Klóríð í köldu grunnvatni er að langmestu leyti ættað úr úrkomunni. Því má nota klóríðinnihald til að rekja grunnvatnsstrauma til upprunasvæða. Mestur er styrkur klóríðs í grunnvatni við strendur landsins. Minnstur er hann í úrkomuskuggunum að baki stóru jöklanna, en einnig lítil á háfjöllum og í grunnvatni undan jöklunum.



5. mynd. Klóríð í grunnvatni.



6. mynd. Natríum í grunnvatni, leiðrétt fyrir úrkomuþátt.

Kortlagning efnainnihalds hefur hingað til fyrst og fremst beinst að vatnsmiklum lindum, sem búast má við að sýni eitthvert meðaltalsástand. Í ljós hefur þó komið, að skýra má efnainnihald annars grunnvatns eða yfirborðsvatns út frá vatnajarðfræðilegum forsendum, a.m.k. í mörgum tilfellum. Um þessi atriði skortir þó enn margvíslegar upplýsingar, enda hafa þau ekki verið könnuð skipulega né við mismunandi aðstæður. Enn vantar mikið á, að sýnataka úr grunnvatni - og yfirborðsvatni - sé nógu þétt á hálandinu, né hafi enn verið hugað nóg að tímabreytingum og sérþáttum.

Steinefni fylgja klóríði í úrkomunni í vissum hlutföllum, svo að þann þátt má reikna frá með nokkurri nákvæmni. Afgangurinn er til kominn fyrir efnahvörf við jarðlögin og gefur því upplýsingar um rennslisleiðir og vatnajarðfræðilegar aðstæður á þeim. Styrkur natrífums er mikill, þar sem afrennslis gætir frá háhitasvæðum og í lokuðum veitum ("aquifers") í sprunguskörum. Lítil er styrkurinn í grunnvatni undan jöklum og gömlu blágrýtisvæðunum. Önnur steinefni veita samþæfilegar upplýsingar, en þar gætir þó áhrifa jarðar öðru vísu og í öðrum mæli. Verulegur munur er á innihaldi sumra efna eftir því hvort grunnvatnið rennur í opnum veitum nærri yfirborði, eða í djúpum sprunguskörum. Auk þess gætir afrennslis frá mýrlendum, jarðhitasvæðum og jöklum í efnainnihaldinu. Glöggur munur er á mörgum efnum á síðkvarteru svæðunum og á tertéru basaltsvæðunum. Greinanlegur munur er einnig á t.d. styrk sulfats eftir því hvort loftmassarnir koma norðan úr lofthreinu Dumbshafinu eða af iðnaðarreykjarsvæðunum við Norður - Atlantshaf. Ástand grunnvatns gefur því margháttáðar upplýsingar um uppruna og rennslisleiðir grunnvatnsins.

Svipaðar upplýsingar má fá með kortlagningu á vatnajarðfræði. Fyrsta sérstaka kortlagning á vatnajarðfræði var gerð af vatnasviði Tungnaár um og upp úr 1970. Nokkurt hlé varð svo á, en síðan hófst kortlagningin aftur að ráði upp úr 1980. Komið hafa út vatnajarðfræðikort í mælikvarða 1:50.000 af vatnasviði Þjórsár - Tungnaár. Drættir vatnajarðfræðinnar sýna ekki einungis líklegar rennslisleiðir grunnvatnsins, heldur einnig hvar jarðlög eru lek og líkleg til að veita miklu grunnvatni.

Aðalupplýsingar á vatnajarðfræðikortum eru flokkun jarðlaga eftir lekt, útbreiðsla og þykkt jafnlekra jarðmyndana, misleitni ("anisotropi") lektar, einkum í sprunguskörum, geymd ("storage") jarðmyndana, lega grunnvatnsborðs, staðsetning og vatnsmegin linda og lindasvæða. Flokkun jarðlaga eftir lekt og kortlagning þeirra skapar grunn til að gildissetja ("quantifisera") hið eðlislæga ("qualitativa") mat og flokkun á jarðlögunum og túlka jarðlagaskipanina á magnlægan ("quantitativan") hátt fyrir margháttáða grunnvatnsreikninga.

3. GRUNNVATNSRANNSÓKNIR VEGNA VATNSORKU

Virkjun fallvatna er ekki huglæg vangavelta heldur raunveruleg og eðlisfræðileg aðgerð, þar sem útkoman er magnlæg í afli og orku. Því er nauðsyn í virkjunarrannsóknnum að geta magnlagt grunnvatnsstreymið, þrátt fyrir alla rannsóknarfræðilega annmarka á þeirri aðgerð. Þekking á magnlægu grunnvatnsstreymi í tíma og rúmi á vatnasviðum virkjunarvatna er það markmið, sem grunnvatnsrannsóknir Orkustofnunar á hálendinu stefna fyrst og fremst að.

Við heildstæðar grunnvatnsrannsóknir eru upplýsingar af ýmsum toga felldar saman í sffellt samfelldari myndir af grunnvatninu. Um leið er dráttum myndanna stöðugt breytt frá eðlislægum yfir í magnlæga. Lokaniðurstöður eru reiknanlegar og svæðisdreifðar stærðir, sem finna má fyrir þá staði, sem mestu máli skifta.

Grunnvatnsrannsóknir eru flóknar og fjölbættar. Við þær þarf fjölbreytta þekkingu og skipulega samstillingu einstakra rannsóknarþátta. Misfellur og vanrækslur í rannsóknunum leiða hins vegar fljótt til ófyrirsjáanlegrar skekkingar á niðurstöðum. Umfang og nákvæmni rannsókna er háð þeim vandamálum, sem glímt er við, og þeim svörum, sem leitað er. Hvað virkjunarvötnin áhrærir, þá fylgja grunnvatnsrannsóknirnar sömu stigskiftingu og aðrar rannsóknir.

Í gamni og alvöru má segja, að undirbúningur virkjana sé svipaður og aðdragandi að orrustu: Mestu máli skiftir að einbeina kröftunum á réttan stað á réttri stundu með skipulagi og fyrirbyggju. Til þess þarf líka að tryggja sér landið í kringum vígvöllinn, en það er eitt af því, sem gert er á hinum fyrri stigum.

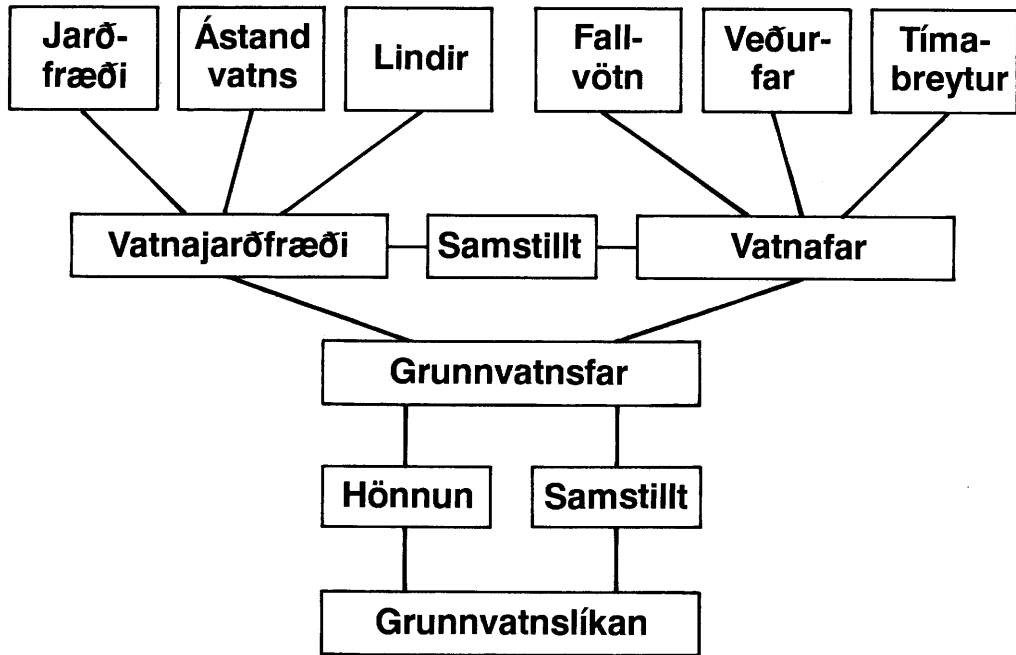
Rannsóknirnar verða því nákvæmari, en um leið á þeim mun þengra svæði, því nær sem dregur virkjunarframkvæmdunum. Þá ríður einnig á, að ramminn að nákvæmnisrannsóknunum sé orðinn nógu traustur, en því er náð með minna nákvæmri rannsókn á stærra svæði á fyrri stigum.

Á fyrstu rannsóknarstigunum er aðalatriðið að ná heildarmynd, sem er nokkurn veginn í samræmi við fyrirbyggjandi upplýsingar um vatnafar og vatnajarðfræði hlutaðeigandi vatnasviðs. Sú mynd þarf ekki að sýna mjög nákvæma drætti og vissar skekkjur megi vera í henni. Þessi mynd, sem þannig fæst, er liður í heildarmynd af virkjunarvatninu. Hún nýtist í senn til formats á vatnsafli og virkjunarkostum, og til leiðbeiningar um framhaldið, auk þess sem hún myndar rammann um nákvæmari rannsóknir á þengra svæði, þegar þar að kemur. Miklu skiftir í þessum rannsóknnum að byrja á byrjuninni og hlaupa ekki yfir nauðsynlega rannsóknarliði.

Á fyrstu stigum er reynt að draga upp einfalda mynd af meginþáttum í grunnvatnsfarinu. Því fylgja skekkjur, en þær geta verið auðgreinanlegar í einfaldleikanum. Flóknari mynd gæti verið nákvæmari og víða réttari, en skekkjur í henni yrðu um leið margslunngur og torfundnari.

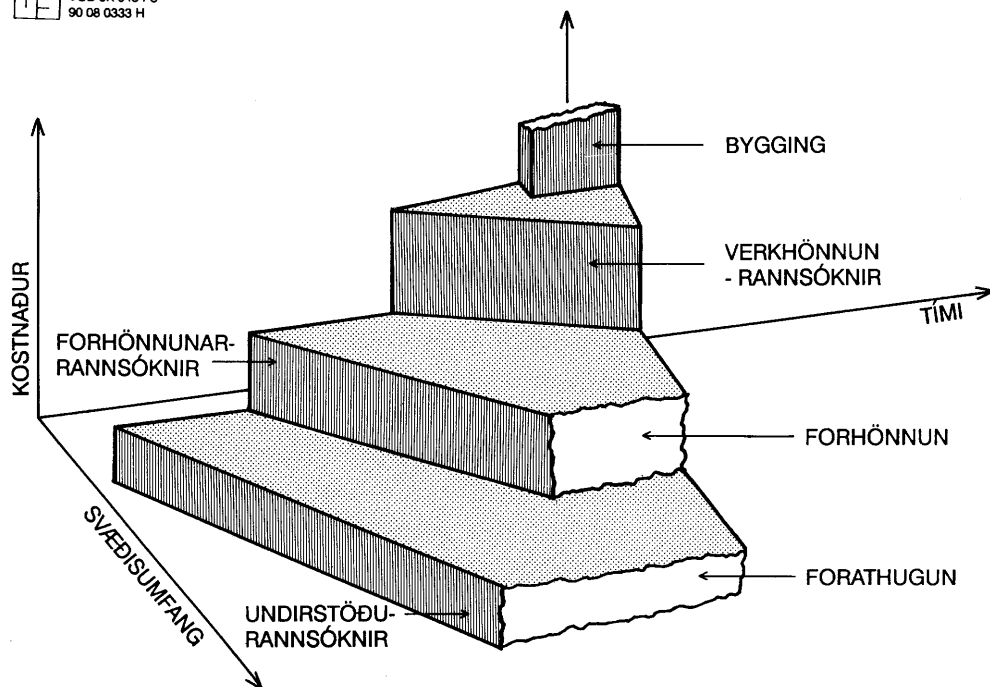
Vatnajarðfræðin er einn þeirra þátta, sem ganga inn í eðlislæga og magnlæga greiningu á grunnvatnsstraumum og vatnasviða þeirra, sem er eitt af höfuðmarkmiðum grunnvatnsrannsókna vegna virkjana. Á grundvelli fyrstu hugmynda um grunnvatnsfarið má oft gera sér til muna gleggri mynd af því, hvaða þættir skifta meginmáli og hverra nauðsynlegra viðbótarupplýsinga megi afla með einföldum og ódýrum ráðum. Það er einn aðalávinnurinn af þeirri fyrirbyggju, sem felst í stigskiftingu rannsókna.

VOD JK 965 FS
92.03.0131 Gyða



7. mynd. Ferli og áfangar í grunnvatnsrannsóknum.

VOD JK 348 FS
90 08 0333 H



8. mynd. Rannsóknarstig í virkjanaundirbúningi.

Því meiri og betri rannsóknir, sem til grundvallar liggja, því traustari og nákvæmari eru niðurstöður rannsóknanna. Skekkja má vera töluverð í formati á virkjunarhæfni fallvatna og vatnsaflí af vatnasviðum. Mun minni má skekkjan vera á forsendum virkjunarhönnunar. Enn getur verið ástæða til að auka nákvæmnina um suma þætti, sem geta vegið þungt í rekstri virkjana, ekki síst um grunnvatnsstreymið í tímans rás. Því þarf sífellt að fylgjast með nýjum upplýsingum og endurskoða hugmyndirnar eftir því sem tilefni verða.

Sem fyrr segir eru magnlögð gildi um grunnvatnsstreymi markmið grunnvatnsrannsókna vegna virkjana. "Tækið" til að finna þessi gildi og fjalla um þau er **grunnvatnslíkan**, sem byggir á viðeigandi rannsóknnum. Þetta líkan er stillt af með ítrekunarreikningum á grundvelli þekkingar síns tíma. Það byggir á tilverandi hugmyndum um grunnvatnsfarið og verður að vera í samræmi við þær.

Hlutdeild grunnvatns í fallvötnum getur skift miklu máli fyrir hönnun virkjana og þar með kostnað. Einnig getur grunnvatnsstreymið getur skift miklu og verðmætu máli í rekstri vatnsaflsvirkjana yfir langan tíma. Vegna mats og áætlana er nauðsyn að geta magnlagt ("quantifiserað") þetta grunnvatnsstreymi með viðráðanlegu móti. Til þess eru grunnvatnslíkön gerð.

Grunnvatnslíkön gefa magnlæga hugmynd um grunnvatnsstreymi. Gerð hafa verið grunnvatnslíkön af vatnasviðum Þjórsár - Tungnaár og Blöndu. Þau hafa verið unnin af Verkfræðistofunni Vatnaskil fyrir Landsvirkjun á grundvelli gagna frá Orkustofnun og Landsvirkjun. Þar má m.a. lesa stefnur og mörk grunnvatnstrauma, vatnsmegin þeirra, dreifingu efna í þeim, hæð grunnvatnsborðs, forðs grunnvatns í jarðlögum, tímabreytingar á grunnvatninu, viðbrögð þess við vatnstöku eða uppstíflunum, o.fl., o.fl.

Það er hins vegar ekki nóg að stilla líkaninu upp í eitt skifti fyrir öll. Líkanið þarf að samskoða vendilega við grunnögn til að treysta grunninn að því. Í tímans rás þarf svo að endurskoða það í ljósi nýrra upplýsinga og ekki síður í ljósi fyllri upplýsinga um tímaháðar breytur grunnvatnsins og annars vatnafars. Hér verður að líta á tímahorf vatnsaflsvirkjana.

Vatnsaflsvirkjun er ekki gullgröftur, þar sem gullið er borið á brott, í eitt skifti fyrir öll. Virkjun er gerð til vinnslu vatnsorku, sem er í raun ekki annað en heildun vatnsafls yfir tíma. Það er tíminn, sem skilar afurðinni. Til að það heppnist á hagkvæman hátt þarf að undirbúa virkjunina af fyrirhyggju. Að því stefna virkjanarannsóknir og að því marki hafa og munu grunnvatnsrannsóknir Orkustofnunar á vatnasviðum virkjanavatna beinst.

Grunnvatnsrannsóknir á síðasta áratug hafa skilað umtalsverðum árangri í greiningu grunnvatns á hálendinu. Með samstillingu við vatnafarsrannsóknir og uppbyggingu grunnvatnslíkana hefur tekist að magnleggja hina eðlislægu þætti vatnajarðfræðinnar. Með því móti er hægt með sívaxandi öryggi og nákvæmni að yfirfæra vatnafarsupplýsingar frá söfnunarstöðum þeirra á hlutsvæði vatnasviðanna og einstaka staði á þeim. Þetta auðveldar til muna áætlanir um val virkjunarkosta, byggingu virkjana og rekstur þeirra, auk þess sem slíkar áætlanir verða bæði öruggari og nákvæmari. Því er full ástæða til að halda þessum rannsóknum áfram með þeim hraða, sem við á.

Jarðhiti til raforkuvinnslu

Valgarður Stefánsson

1. INNGANGUR

Allmiklar líkur eru á að veruleg aukning verði á raforkuframleiðslu á Íslandi á fyrstu áratugum næstu aldar. Óháð því hvort aukning raforkumarkaðsins verður hröð, eða hvort hún fylgir þörfum almenna markaðsins, þarf að velja þær virkjunarraðir sem gefa hagstæðasta raforkuverð til langs tíma litið. Fram að þessu hafa vatnsaflsvirkjanir einkum komið til álita þegar mismunandi virkjunarraðir hafa verið athugaðar.

Í þessari grein er raforkuvinnsla úr jarðhita til umfjöllunar. Sýnt er fram á að jarðhitinn sé í mörgum tilvikum álitlegur kostur til raforkuvinnslu og að virkjunarkostir jarðhita eigi að koma til jafnra álita og virkjunarkostir vatnsorku þegar ákvarðanir um virkjanir eru teknar.

2. ORKULINDIR ÍSLANDS

Innlendir orkugjafar okkar Íslendinga eru jarðhiti og vatnsorka. Miðað við höfðatölu landsmanna eru Íslendingar tiltölulega vel settir með innlenda orku. Hins vegar veða íslenskar orkulindir ekki mikið á alþjóðlegum orkumarkaði. Tafla 1 gefur yfirlit um stærð íslenskra orkulinda og nýtingu þeirra (Jakob Björnsson 1991).

TAFLA 1. Stærð íslenskra orkulinda og nýting þeirra.

	Vatnsorka TWh/ár	Jarðhiti TWh/ár
Tæknilega vinnanlegur jarðhiti		9700
Tæknilega vinnanleg raforka	64	195
"Ódýr" raforka	30	20
Raforkuvinnsla árið 1990	4,3	0,3
Varmavinnsla árið 1990	0	8,9

Yfirlitið í töflu 1 sýnir nokkrar athyglisverðar staðreyndir. Fyrst ber að nefna að orkulega séð er jarðhitinn talinn vera tveim stærðargráðum stærri orkulind en vatnsorkan í landinu. Megin hluti jarðhitans verður, með núverandi tækni, aðeins nýttur sem varmaorka. Hins vegar er sá hluti jarðhitans, sem nýta má til raforkuvinnslu, talinn vera stærri en öll vatnsorka landsins.

Hugtakið "ódýr" raforka í töflu 1 er ekki mjög vel skilgreint, en í stórum dráttum er hér átt við næstu virkjunarkosti, þar sem orkuverð er talið nægjanlega lágt til þess að vera áhugavert fyrir raforkufrekan iðnað. Stærðin á þessum þætti er talin vera sambærileg fyrir vatnsorku og jarðhita.

Svo sem fram kemur í töflu 1, þá er vinnsla raforku úr vatnsorku stærðargráðu meiri en vinnsla raforku úr jarðhita. Þetta er mjög athyglisvert í ljósi þess að jarðhitinn er mun stærri orkulind heldur en vatnsorkan, og þátturinn "ódýr" raforka er talinn vera af sambærilegri stærð fyrir vatnsorku og jarðhita. Hins vegar er öll vinnsla jarðhita orkulega séð um tvisvar sinnum meiri en nýting vatnsorku. Jarðhitinn er þannig mikilvægasta orkulind landsmanna, þó svo að einungis lítil hluti vinnslunar fari til raforkuvinnslu og þó svo að nýtingin sé dreifð á mjög marga nýtingaraðila.

3. PRÓUN RAFORKUIÐNAÐAR

Vinnsla raforku úr vatnsafla hefst hér á landi 1904, en virkjun Elliðaánna 1921 er fyrsta almenningsrafstöðin, sem eitthvað kveður að. Sú virkjun var í byrjun 1 MW, en samanlagt afl allra almenningsrafstöðva á landinu er nú tæplega 900 MW.

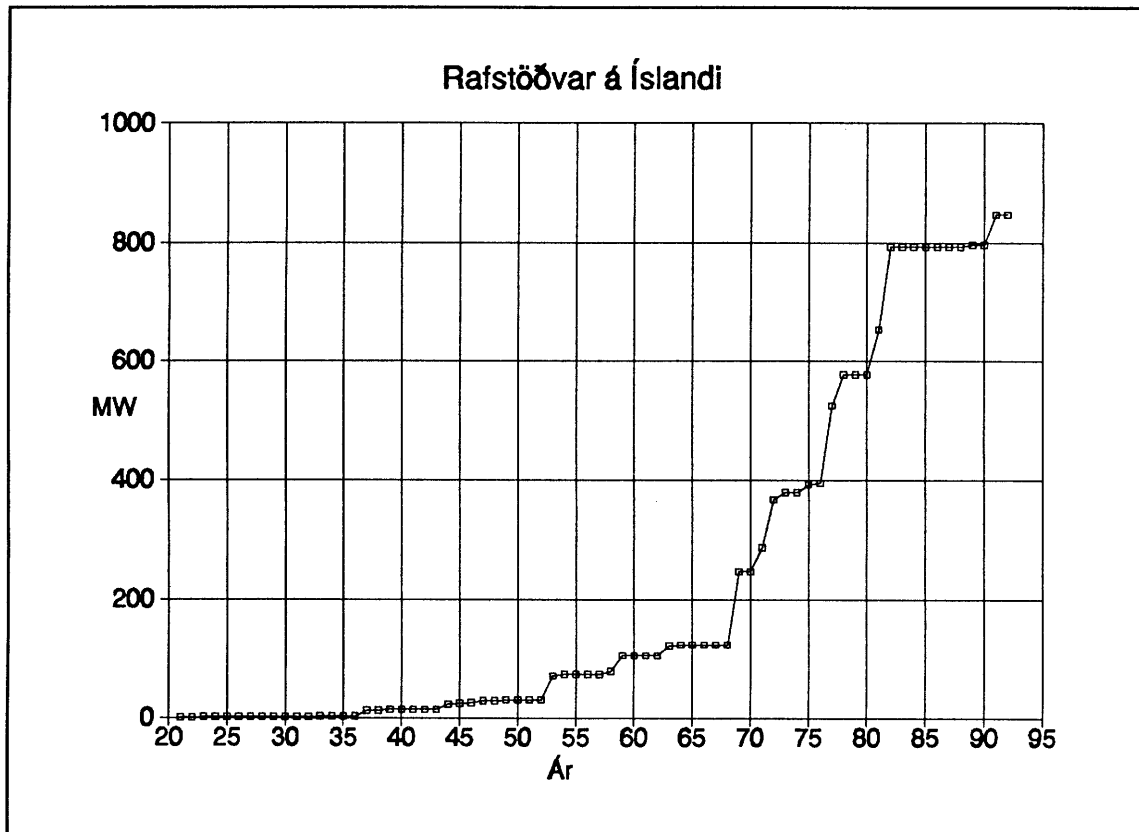
TAFLA 2. Almenningsrafstöðvar. Vatnsorka og jarðhiti

Ár	Virkjun	Afl kW	Afl alls kW
1921	Elliðaár	1.032	1.032
1923	Elliðaár	688	1.720
1933	Elliðaár	1.440	3.160
1937	Ljósafoss	8.800	11.960
1937	Fossá	600	12.560
1939	Laxá	1.680	14.240
1943	Garðsá	174	14.414
1944	Ljósafoss	5.800	20.214
1944	Laxá	2.880	23.094
1945	Skeiðsfoss	1.600	24.694
1946	Fossá	560	25.254
1947	Andakvíll	3.520	28.774
1948	Búðará	240	29.014
1949	Fjarðará	160	29.174
1949	Gönguskarðsá	1.064	30.238
1953	Írafoss	31.000	61.238
1953	Þverá	560	61.798
1953	Laxárvatn	480	62.278
1953	Laxá	8.000	70.278
1954	Skeiðsfoss	1.600	71.878
1954	Rjúkandi	840	72.718
1958	Mjólká	2.400	75.118
1958	Grímsá	2.800	77.918
1958	Reiðhjalli	400	78.318
1959	Steingrímsstöð	26.400	104.718
1963	Írafoss	16.800	121.518
1964	Þverá	1.176	122.694
1969	Búrfell	120.000	242.694
1969	Smyrla	1.000	243.694
1969	Námafjall	3.000	246.694
1971	Búrfell	40.000	286.694
1972	Búrfell	80.000	366.694
1973	Laxá	7.900	374.594
1973	Andakvíll	4.400	378.994
1975	Mjólká	5.700	384.694
1975	Blævardalsá	200	384.894
1975	Lagarfoss	7.500	392.394
1976	Sængurfoss	720	393.114
1976	Mýrá	60	393.171
1976	Skeiðsfoss	1.700	394.874
1977	Sigalda	100.000	494.874
1977	Krafla	30.000	524.874
1977	Svartsengi	2.000	526.874
1978	Sigalda	50.000	576.874
1981	Hrauneyjarfoss	70.000	646.874
1981	Svartsengi	6.000	652.874
1982	Hrauneyjarfoss	140.000	792.874
1989	Svartsengi	3.600	796.474
1991	Blanda	50.000	846.474

Tafla 2 sýnir yfirlit um uppsett afl almenningsrafstöðva sem vinna raforku úr vatnsafla og jarðhita. Flestar þessara stöðva eru tiltölulega litlar einingar og eru það aðeins Blanda og virkjanir á

Þjósársvæði sem eru yfir 100 MW að stærð. Meðalstærð rafstöðva á Íslandi er hins vegar rúmlega 30 MW.

Þróun íslenska raforkuiðnaðsins er sýnd á mynd 1, þar sem samanlagt afl vatnsafls og jarðhita er teiknað upp á móti tíma.



Mynd 1. Uppsett afl vatnsafls- og jarðhitarafstöðva.

Auk þessara 846 MW sem tafla 2 greinir frá og sýndar eru á mynd 1, eru fyrir hendi í landinu 116 MW uppsett afl í dieselstöðvum. Notkun dieselraforku er þó hverfandi svo sem kemur fram í töflu 3.

TAFLA 3. Raforkuvinnsla á Íslandi

	Afl í árslok 1991		Orkuvinnsla 1991	
	MW	%	GWh	%
Vatnsorka	801,9	83,3	4.154	93,8
Jarðhiti	44,8	4,6	267	6,0
Olía	116,1	12,1	6	0,2
Samtals	962,8	100,0	4.427	100,0

Það er athyglisvert að þó "ódyri" hluti jarðhitans til raforkuvinnslu sé af sambærilegri stærð og "ódyri" hluti vatnsorkunnar, þá er virkjun vatnsorkunnar til raforkuvinnslu stærðargráðu meiri heldur en virkjun jarðhita til raforkuvinnslu. Hver hin raunverulega ástæða er fyrir þessari þróun mála, er væntanlega

flókið mál, en það er hins vegar ekki fyrirfram gefið að það eigi að fylgja sömu stefnu í framtíðinni.

Þau atriði, sem einkum eru tilnefnd sem ástæða fyrir þessari þróun eru verð, öryggi og skortur á vel rannsökuðum jarðhitakostum til samanburðar við vatnsafl. Hér á eftir verða nokkur þessara atriða athuguð nánar til þess að sýna fram á, að það er nauðsynlegt að þoka háhitarrannsóknnum a.m.k. á það stig að það sé hægt að bera saman kosti í jarðhita og vatnsafl þannig að hægt sé hverju sinni að velja hagkvæmstu virkjunarleið. Ef ekki liggja fyrir fullrannsakadír jarðhitakostir í framtíðinni, mun jarðhitinn ekki koma til álita við ákvarðanatöku um virkjanir til raforkuvinnslu, og vatnsorkan mun þá halda þeirri einokunaraðstöðu til raforkuvinnslu sem hún hefur haft fram að þessu.

4. ORKUVERÐ

Í þessum kafla er gerður nokkur samanburður á verði vatnsorku og jarðhita. Annars vegar er stofnkostnaður á orkueiningu notaður, en einnig er reynt að meta orkukostnað með einföldum reikningsaðferðum. Fyrri aðferðin hefur þá kosti að hún er einföld og eingöngu tæknilegs eðlis. Við mat á orkuverði þarf hins vegar að taka inn fjármálalega og rekstrarlega þætti orkuvinnslunnar. Þar þarf t.d. að meta eðlilegan afskriftartíma virkjana, eðlilegan vaxtakostnað og skiptingu kostnaðar á milli fjármagnskostnaðar og rekstrarkostnaðar. Við vatnsaflsvirkjanir hefur skapast nokkur hefð í því hvernig þessar fjármálalegu og rekstrarlegu stærðir eru meðhöndlaðar, en málið liggur ekki eins ljóst fyrir um jarðhitavirkjanir. Hins vegar var talið nauðsynlegt að gera einfaldaða orkuverðsreikninga hér, til þess að sýna fram á það að það er ekki mjög mikill munur á því að bera saman vatnsorku og jarðhita á grundvelli stofnkostnaðar á orkueiningu annars vegar og að bera kostina saman á grundvelli orkuverðs hins vegar.

Við samanburð á vatnsorku og jarðhita liggur beinast við að skoða kostnað við þær virkjanir sem þegar hafa verið reistar og eru nú í rekstri. Eins og áður er getið eru þessar virkjanir að langstærstum hluta vatnsaflsvirkjanir og eina jarðhitavirkjunin sem reist hefur verið eingöngu til raforkuvinnslu er Krafla. Við virkjun Kröflu komu fram ýmsar óvanalegar aðstæður eins og t.d. afskipti stjórnmalamanna af virkjunarframkvæmdum og aðrar náttúruhamfarir. Krafla getur því varla talist gott dæmi um dæmigerða jarðhitavirkjun. Hins vegar er Krafla eina dæmið sem fyrir hendi er um jarðhitavirkjun og því sjálfsagt að bera hana saman við vatnsaflsvirkjanir.

Tafla 4 sýnir áætlað nývirði helstu starfandi virkjana á landinu og útreiknað einingarverð (þ.e. stofnkostnaður á orkumátt virkjunar). Verðlag í töflu 4 miðast við mars 1992. Þar sem orkumannvirki nýtast við margar rafstöðvar eins og t.d. á Þjórsár- og Tungnársvæði, við Sog og Laxá, er gefin ein heildartala fyrir viðkomandi svæði. Flestar kostnaðartölur í töflu 4 eru teknar úr skýrslunni *Afl og orkukostnaður. Hönnunarforsendur* (Verkfræðistofs Sigurðar Thoroddsen 1990).

Það vekur athygli í þessum verðsamanburði að spönnin í verði er allmikil eða 18-63 kr/kWh/ár, og að Krafla er ekki dýrasta virkjun, sem reist hefur verið á Íslandi. Verðið á smáum vatnsaflsvirkjunum er hins vegar nokkuð hátt. Einnig má ætla að gamlar virkjanir komi verr út úr svona samanburði heldur en nýrri virkjanir.

Krafla hefur nokkra sérstöðu meðal þeirra virkjana sem nefndar eru í töflu 4. Bæði er að þetta er eina jarðhitavirkjunin í töflunni en einnig höfðu ytri áhrif meiri áhrif á virkjunarframkvæmdir í Kröflu en almennt gerist við virkjunarframkvæmdir á Íslandi. Þess vegna er stofnkostnaður Kröflu athugaður nánar í töflu 5. Kostnaðartölur um Kröflu eru fengnar úr: *Kröfluvirkjun. Skýrsla iðnaðarráðherra vegna óska frá Alþingi á þingskjali 358. Maí 1980.*

TAFLA 4. Áætlað nývirði starfandi virkjana.

	Afl MW	Orkumáttur GWh/ár	Stofnkostnaður Mkr	Einingarverð kr/kWh/ár
Þjórsársvæði	557,3	3290	60.973	18,53
Sogsvirkjanir	86,8	490	11.723	23,92
Laxárvirkjanir	20,5	155	5.317	34,30
Smyrlabjargarvirkjun	1,34	8,3	436	52,58
Grímsárvirkjun	2,98	17,2	1.078	62,66
Lagarfossvirkjun	7,8	50,6	1.654	32,70
Smáar vatnsaflsvirkjanir	31,48	123,9	5.696	45,97
Krafla	30	240	7.268	30,28
Blanda	150	750	14.445	19,26
ALLS	908,2	5125	108.590	21,19

TAFLA 5. Stofnkostnaður Kröflu í janúar 1980.

	Verðlag jan. 1980 Mkr	Verðlag mars 1992 Mkr	%
Virkjun	20.318,9	4.527,3	62,3
Boranir	4.694,4	1.046,0	14,4
Gufuveita	2.947,5	656,7	9,0
Vextir til ársloka 1978	4.659,7	1.038,2	14,3
SAMTALS	32.620,5	7.268,3	100,0

Þessi skipting kostnaðar við virkjun Kröflu er mjög athyglisverð. Kostnaðurinn við virkjunina er hlutfallslega meiri en almennt gerist við jarðhitavirkjanir erlendis, en borkostnaður er hlutfallslega mun lægri. Til samanburðar má benda á að Cappetti og Celati (1986) telja að á Ítalíu sé kostnaður við sjálfa virkjunina vanalega á bilinu 28-47% af heildarkostnaði jarðhitavirkjunar, en að borkostnaður sé á bilinu 43-64% af virkjunarkostnaði.

Einnig er rétt að benda á það að allur kostnaður við boranir í Kröflu fram til ársloka 1979 er jafn hár og vaxtakostnaður við virkjunina fram til ársloka 1978. Sú aðgerð að fresta borunum í Kröflu á sínum tíma hefur því ekki orðið til þess að lækka virkjunarkostnað.

Miðað við 30 MW uppsett afl í Kröflu er orkumáttur stöðvarinnar um 240 GWh/ár, hins vegar hafa rekstraraðilar stöðvarinnar stöðvað virkunina á sumrin, þanig að ársframleiðsla Kröflu hefur yfirleitt verið 180-185 GWh á ári. Tafla 6 sýnir einingarverð frá Kröfluvirkjun miðað við orkumátt stöðvarinnar annars vegar, og miðað við þá framleiðslu sem verið hefur á undanförunum árum.

TAFLA 6. Einingarverð frá Kröfluvirkjun.

GWh/ári	180 (framleiðsla)	240 (orkumáttur)
Einingarverð kr/kWh/ári	40,38	30,28

Það er talið eðlilegra að miða einingarverð Kröflu við heildarorkumátt stöðvarinnar, frekar en að miða við hvernig rekstri stöðvarinnar hefur verið háttað. Á sama hátt er einingarverð Blöndu miðað við 750 GWh ársframleiðslu, en ekki þá framleiðslu sem virkjunin mun skila á næstu árum.

Svo sem kemur fram hér að ofan kemur Krafla ekki mjög illa út úr samanburði við starfandi vatnsaflsvirkjanir. Stofnkostnaður Kröflu er vissulega um 50% hærri en meðalstofnkostnaður virkjana í landinu. Hins vegar er stofnkostnaður Kröflu lægri á orkueiningu en samsvarandi kostnaður við t.d. Laxárvirkjanir.

Næsta skref í þessum verðsamanburði á starfandi vatnsafls- og jarðhitavirkjunum er að gera samanburðinn á grundvelli orkuverðs frá þessum virkjunum. Gengið er út frá kostnaðartölum í töflu 4, en viðbótarforsendur eru gefnar í töflu 7.

TAFLA 7. Forsendur við útreikninga á orkuverði.

	Vatnsorka	Jarðhiti
Afskriftartími virkjana, ár	40	30
Vextir á ári, %	6	6
Rekstrarkostnaður á ári, % af stofnkostnaði	1	2,5

TAFLA 8. Einingar og orkuverð frá starfandi virkjunum.

	Stofnkostnaður á orkueiningu kr/kWh/ár	Orkuverð kr/kWh	Orkuverð US mil/kWh
Þjórsársvæði	18,53	1,42	23,6
Sogsvirkjanir	23,92	1,83	30,5
Laxárvirkjanir	34,30	2,62	43,7
Smyrla	52,58	4,02	67,0
Grímsá	62,66	4,79	79,9
Lagarfoss	32,70	2,50	41,7
Smáar vatnsaflsvirkjanir	54,97	3,52	58,6
Krafla	30,28	2,96	49,3
Blanda	19,26	1,47	24,6
VEGIÐ MEÐALTAL	21,19	1,64	27,4

Miðað við þessar forsendur verður orkuverð frá starfandi virkjunum eins og tafla 8 sýnir. Í töflunni er orkuverðið einnig gefið í einingunni US mil/kWh. Við þá einingabreytingu er miðað við að 1 USD = 60 kr.

Tafla 8 sýnir að samanburðurinn á Kröflu og vatnsaflsvirkunum breytist ekki mjög verulega frá samanburðinum þar sem stofnkostnaður á orkueiningu var notaður. Að vísu reiknast orkuverð frá Kröflu um það bil tvisvar sinnum hærra en meðalorkuverð allra virkjana, og orkuverð frá Kröflu reiknast hærra en orkuverð frá Laxárvirkjunum, hins vegar er orkuverð frá Kröflu innan þeirrar spannar sem fram kemur í töflu 8.

Niðurstöður af þessum samanburði verða því þessar: Orkuverð frá Kröflu er trúlega um það bil tvisvar sinnum hærra en meðal orkuverð frá öðrum starfandi virkjunum. Hins vegar getur Krafla ekki talist dæmigerð jarðhitavirkjun, og orkuverð frá Kröflu er ekki dæmi um hæsta orkuverð frá starfandi rafstöðvum.

5. NÝ VIÐHORF TIL JARÐHITAVIRKJANA

Við áætlanagerð um rannsóknir og undirbúning jarðgufuvirkjana til raforkuvinnslu hafa menn fram til þessa tekið mjög mikið mið af aðferðafræði við rannsóknir og byggingu vatnsaflsvirkjana. Þannig hafa menn t.d. miðað jarðhitarannsóknir við það að heildarvinnslugeta jarðhitasvæðis sé þekkt áður en kemur til virkjunar á viðkomandi jarðhitasvæði og að hvert jarðhitasvæði sé virkjað í einu eða mjög fáum þrepum.

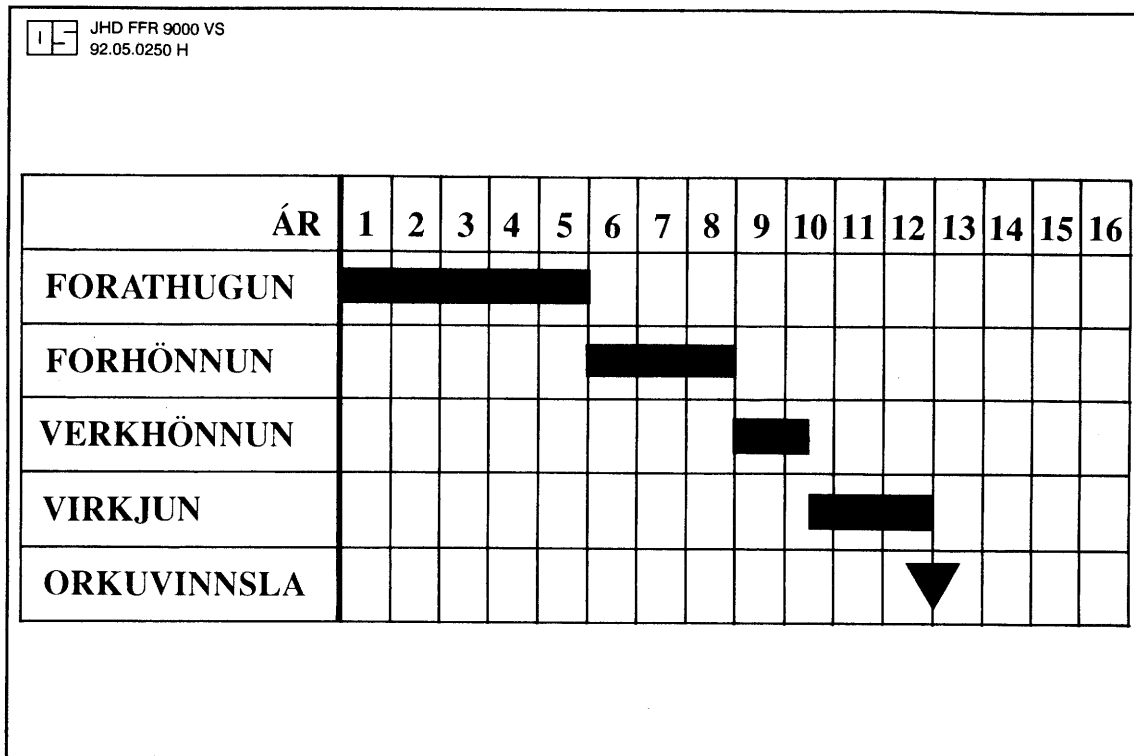
Árið 1982 kom út skýrsla Orkustofnunar, sem bar heitið *Áætlun um skipulegar rannsóknir á háhitasvæðum landsins* (Valgarður Stefánsson o.fl. 1982). Sú áætlun var gerð í kjölfar þingsályktunar um skipulegar rannsóknir á háhitasvæðum landsins. Þessi áætlun byggði alfarið á aðferðafræði sem svipaði mjög mikið til þeirra aðferða sem tíðkast hafa við vatnsorkurannsóknir. Þó svo að háhitaáætluninni frá 1982 hafi ekki verið fylgt, má segja að rannsókn Nesjavalla hafi í stórum dráttum fylgt þeirri aðferðafræði sem dregin var upp í skýrslunni frá 1982.

Mynd 2 gefur einfaldaða mynd af tímasetningu aðgerða við undirbúning virkjana, eins og sú tímasetning var sett var upp í háhitaáætluninni frá 1982.

Í vatnsorkurannsóknum er það eðlilegt að heildarrannsókn virkjunarstaðar fari fram áður en ákvörðun um virkjun er tekin. Þessi aðferð fellur hins vegar ekki vel að eðli jarðhitans. Ýmis atriði í jarðhitarannsóknum, í virkjun jarðhitans og í rekstri jarðhitakerfa eru mjög frábrugðin því sem menn eiga að venjast á vatnsorkusviðinu. Þess vegna eru menn nú óðum að komast á þá skoðun að aðferðafræðin við rannsókn og undirbúning jarðhitavirkjana eigi fremur að miða við eðli jarðhitans heldur en að treysta á aðferðir, sem fengnar eru að láni frá vatnsorkuiðnaðinum (Valgarður Stefánsson o.fl. 1991).

Nefna má fjögur atriði sem hafa haft áhrif á þessa þróun:

1) Það skiptir miklu máli fyrir fjárhagslega afkomu jarðhitavirkjunar að stuttur tími sé frá borunum reynslu- og vinnsluhola þar til virkjun kemst í rekstur og fer að skila tekjum af orkusölu. Borkostnaður er oft um þriðjungur af heildarkostnaði virkjunar, svo það getur skipt sköpum fyrir fjárhagslega afkomu virkjunar að hægt sé að tímasetja vinnsluboranir eins nálægt því að orkusala hefst eins og kostur er. Þessar aðstæður geta leitt til ósættanlegra sjónarmiða. Eigi að stilla áhættu í hóf þarf að fá mikla vitneskju um jarðhitakerfið áður en hönnun og ákvörðun um virkjun er gerð. Til þess að fullnægja þessum skilyrðum þarf að bora og reynslukeyra vissan holufjölda í mörg ár áður en virkjunin



Mynd 2. Hefðbundinn undirbúningur jarðhitavirkjana.

kemst í gagnid. Þessi "rannsóknarkostnaður" getur orðið verulegur hluti af heildarkostnaði, m.a. vegna þess að þessi kostnaður kemur snemma á aðgerðatímabilinu. Rétt er þó að benda á það hér að þó menn vilji gjarnan tímasetja vinnsluboranir eins seint og mögulegt er, verður ekki komist hjá því að bora rannsóknarholur áður en ákvörðun um virkjun er tekin.

2) Haldgóð þekking á forðafræðilegum eiginleikum jarðhitakerfa fæst aðeins með margra ára athugun á viðbrögðum kerfisins, og slík þekking er sjaldnast fyrir hendi fyrir en jarðhitakerfið hefur verið í nýtingu í mörg ár. Sú aðferð að byggja jarðhitavirkjun í einum áfanga, þannig að stærð virkjunar falli nákvæmlega að vinnslugetu jarðhitakerfisins er einfaldlega ósættanleg við forðafræðilega eiginleika jarðhitans. Menn verða annað hvort að virkja jarðhitann í þrepum eða að taka mikla áhættu, svo mikla áhættu að hún er í mörgum tilvikum ekki réttlætunleg frá fjárhagslegu sjónarmiði. Í þessu tilviki kemur munurinn á vatnsorku og jarðhita mjög skýrt fram. Upplýsingar um rennsli fallvatna er safnað á mörgum árum eða áratugum áður en virkjað er, en upplýsingar um vatnafræðilega eiginleika jarðhitakerfa fást ekki fyrir en mörgum árum eftir að borholur hafa verið virkjaðar.

3) Þó svo að jarðhitarannsóknir hafi verið gerðar af samvissusemi og jafnvel þar sem virkjað hefur verið í þrepum, eru til erlend dæmi um það að reistar hafa verið of stórar jarðhitavirkjanir, eða að óvænt atvik hafi á annan hátt orðið því valdandi að ekki hefur verið hægt að nýta nema vissan hluta af virkjanabúnaði. Óvæntar uppákomur í rekstri jarðhitakerfa stafa vanalega af því að gert hefur verið ráð fyrir að viðkomandi jarðhitakerfi muni hegða sér á svipaðan hátt og eitthvað annað jarðhitakerfi, sem meiri þekking er á. Hin bitra reynsla er hins vegar sú að engin tvö jarðhitakerfi eru eins, og ákvarðanir um rekstur og aukna vinnsla á vissu jarðhitasvæði verður að byggja á gögnum frá þessu sérstaka jarðhitasvæði.

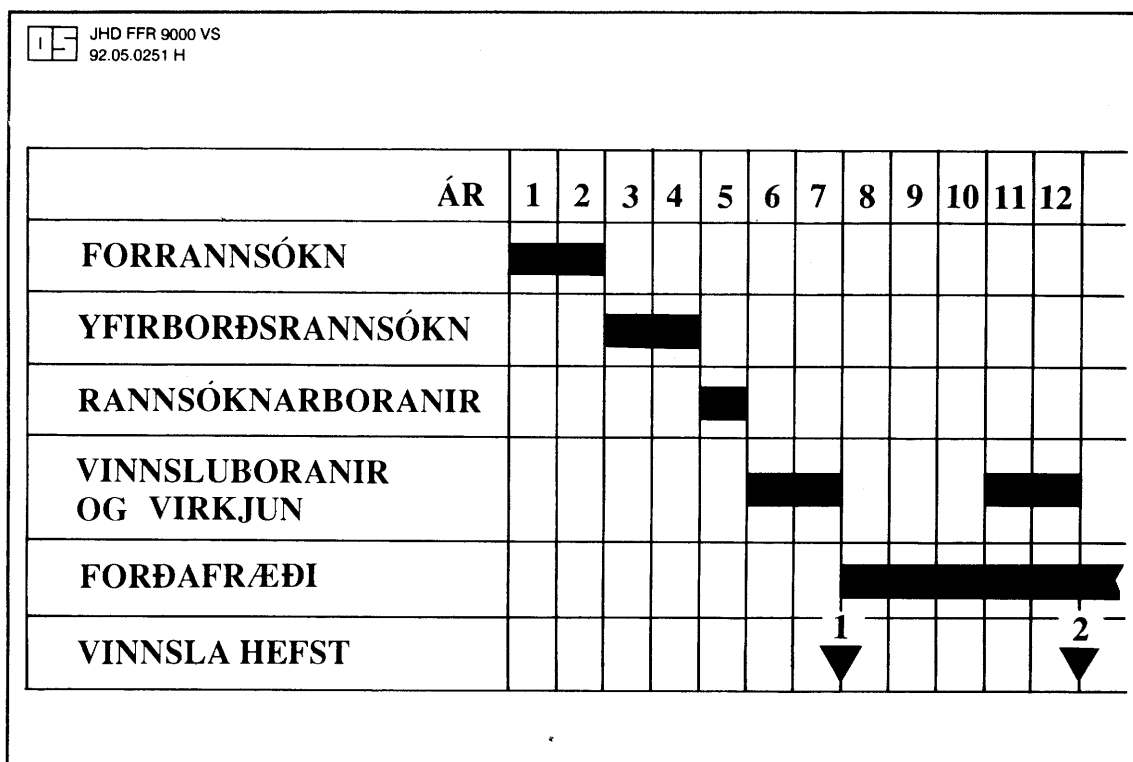
4) Við langtíma rekstur virkjana á háhitasvæðum hefur komið í ljós að breytingar á gufuhlutfalli með tíma eru of mjög verulegar. Þessar breytingar á gufuhlutfalli hafa miklu meiri áhrif raforkuvinnslu

VirkJunar til langs tíma litið, heldur en sá ávinningur sem fékkst í upphafi vinnslu með því að sérhanna vélbúnað virkjunarinnar í samræmi við upphafseiginleika svæðisins. Af þessum sökum er sú skoðun nú orðin almenn, að það sé ekki þess virði að sérhanna vélbúnað fyrir hvert jarðhitasvæði. Þess í stað telja menn vænlegra að nota staðlaðan búnað, sem gangi þokkalega, þó svo að gufuhlutfallið breytist í tímans rás.

Heppilegt hefur verið talið að staðlaðar einingar fyrir jarðhitavirkjanir væru 15-20 MW. Þessi stærð á vélbúnaði er nægilega stór til þess að framleiðslukostnaður á hvert megawatt er viðráðanlegur, en jafnframt er búnaðurinn allur nægjanlega líftill og meðfærilegur til þess að flutningar og uppsetning eru tiltölulega auðveldar aðgerðir.

Þetta nýja sjónarmið að virkja allan jarðhita til raforkuvinnslu í tiltölulega smáum stöðluðum einingum felur í sér að hvert háhitasvæði er virkjað í 20 MW þrepum, óháð því hvaða virkjunarhraði er fyrir hendi í landinu. Samhliða vinnslu raforku með þessum 20 MW einingum eru forðafraðileg viðbrögð jarðhitakerfisins skráð og metin. Eftir svo sem 3 ára vinnslusögu er hægt að ákvarða hvenær bæta megi næstu 20 MW einingu við og þannig koll af kalli þar til jarðhitasvæðið er fullvirkjað. Það má því með vissum rétti segja að með þessari aðferð er vinnslugeta jarðhitasvæðisins ekki þekkt fullkomlega fyrr en búíð er að fullvirkja svæðið.

Mynd 3 sýnir nánar tímasetningu á undirbúningi fyrir svona 20 MW virkjanatilhögun.



MYND 3. Undirbúningur og virkjun jarðhita í 20 MW einingum

Nýja aðferðin við undirbúning og virkjun jarðhita til raforkuvinnslu hefur í för með sér að taka verður fyrir fleiri jarðhitasvæði eða virkjunarstaði til rannsókna, heldur en með gamla laginu. Hins vegar gerir nýja aðferðin ráð fyrir að mun minni rannsóknir þurfi að gera áður en ákvörðun er tekin um fyrstu 20 MW eininguna, heldur en þegar gert var ráð fyrir að fullvirkja svæðið í einu þrepi eða svo. Þar sem

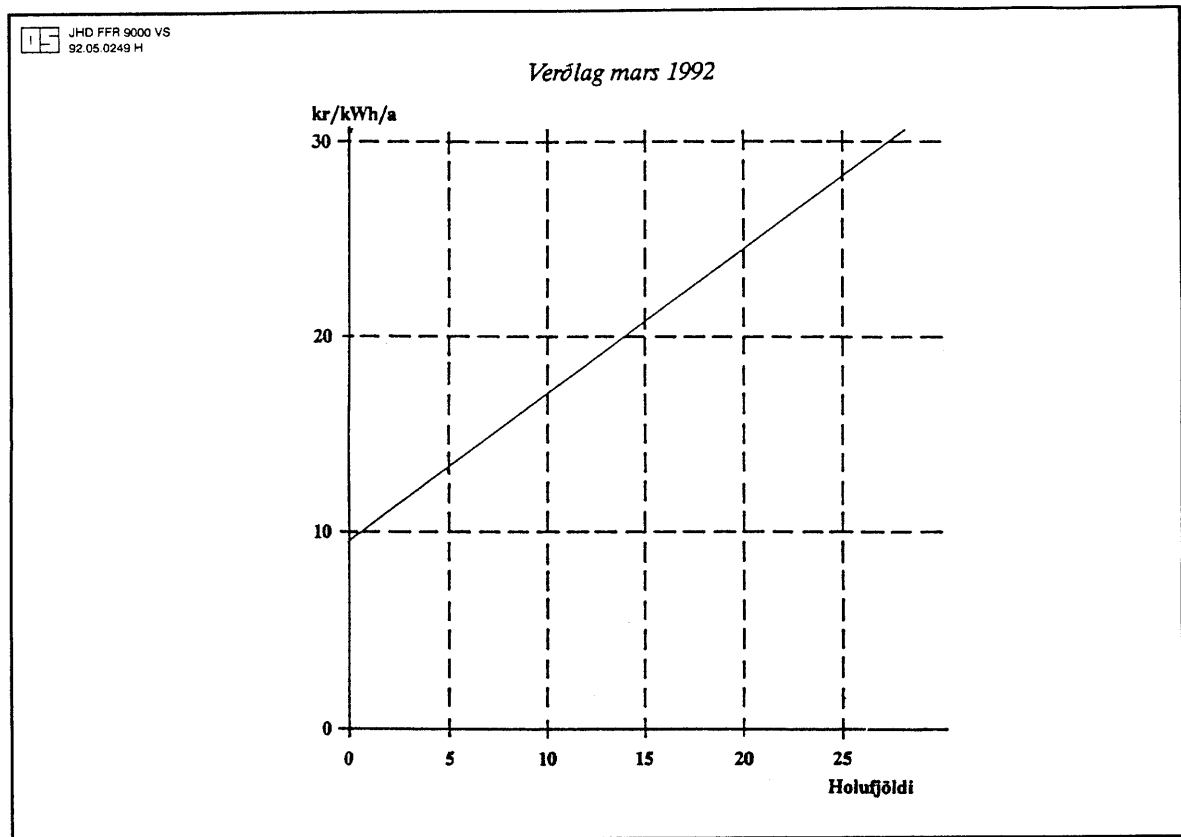
rannsóknarkostnaður á hverju svæði vex því hraðar sem svæðin ná hærra rannsóknarstigi, verður heildarkostnaður við það að hafa mörg svæði á lágu rannsóknarstigi minni en að hafa fá svæði á háu rannsóknarstigi. Nýja aðferðin kemur þannig til með að minnka rannsóknarkostnað, en það sem skiptir þó meira máli er að þessi aðferð dreifir fjárförfinni á mun hagstæðari hátt en gamla aðferðin. Heildarniðurstaðan verður einfaldlega sú að bæði rannsókn- og virkjanakostnaður verður lægri en með gömlu aðferðinni.

Til þess að fá fram gróft mat á orkukostnaði frá svona 20 MW jarðhitavirkjun er stofnkostnaður slíkrar einingar áætlaður hér. Upplýsingar um verð á vélbúnaði og gufuveitu eru fengnar frá Filippseyjum (H.V.Guillen skriflegar upplýsingar 1991), en þar voru nýlega boðnar út 15 einingar af svona jarðhitaeiningum. Meðalverð borholu er talið vera 90 Mkr eða um 1,5 M\$, og gert er ráð fyrir að 8 vinnsluholur anni aflþörf stöðvarinnar. Auk þess eru boraðar tvær rannsóknarholur áður en ákvörðun um virkjun er tekin. Tafla 9 sýnir áætlaðan stofnkostnað fyrir fyrstu 20 MW jarðhitavirkjun á einhverju tilteknu jarðhitasvæði.

TAFLA 9. Stofn- og einingarkostnaður 20 MW jarðhitavirkjunar.

	M\$	Mkr
Frumrannsóknir	0,1	6
Yfirborðsrannsóknir	0,2	12
Tvær rannsóknarholur	3,0	180
Virkjunarbúnaður	20,0	1200
Stöðvarhús	2,0	120
Átta vinnsluholur	12,0	720
Gufuveita	4,0	240
SAMTALS	43,3	2478
Orkumáttur 160 GWh/ár		
Einingarverð 15,49 kr/kWh/ár		

Stofnkostnaður á orkueiningu fyrir 20 MW jarðhitavirkjun virðist þannig mjög svipaður og nýjustu áætlanir um stofnkostnað Fljótsdalsvirkjunar. Ef forsendurnar í töflu 7 eru notaðar verður orkukostnaður við svona virkjun 1,51 kr/kWh eða 25,2 US mil/kWh. Hins vegar er kostnaður við jarðhitavirkjanir alltaf mjög háður borkostnaði, og það er alltaf fyrir hendi mikil óvissa um árangur borana á óþekktum svæðum. Ef jarðhitasvæði er hins vegar sæmilega þekkt eftir að viss fjöldi hola hefur verið boraðar, má áætla tölfræðilegar líkur á árangri næstu borana á svæðinu. Það gefur því betri mynd af kostnaði jarðhitavirkjana að skipta kostnaði í tvo þætti: Annars vegar kostnaði við stöðina sjálfa, þar sem skekkjumörk í áætlun ættu að vera tiltölulega lítil, og hins vegar kostnað við boranir og gufuveitu, þar sem veruleg frávik geta orðið í áætlun um árangur borana. Þó svo að skekkjumörk í áætlunum um gufuveitu ættu ekki að vera mjög mikil er gufuveitan tekin hér með borkostnaði vegna þess að það kostar meira að tengja margar holur heldur en fáar holur. Mynd 4 sýnir nánar hvernig stofnkostnaður á orkueiningu breytist með þeim holufjölda, sem nauðsynlegur er til þess að standa undir 20 MW raforkuframleiðslu. Myndin sýnir að fjöldi borhola má ekki vera meiri en 10-12 til þess að jarðhitavirkjanir séu sambærilegar við vatnsaflsstöðvar.



MYND 4. Áætlaður einingakostnaður við 20 MW jarðhitastöð.

6. SAMANBURÐUR Á VATNSORKU OG JARÐHITA

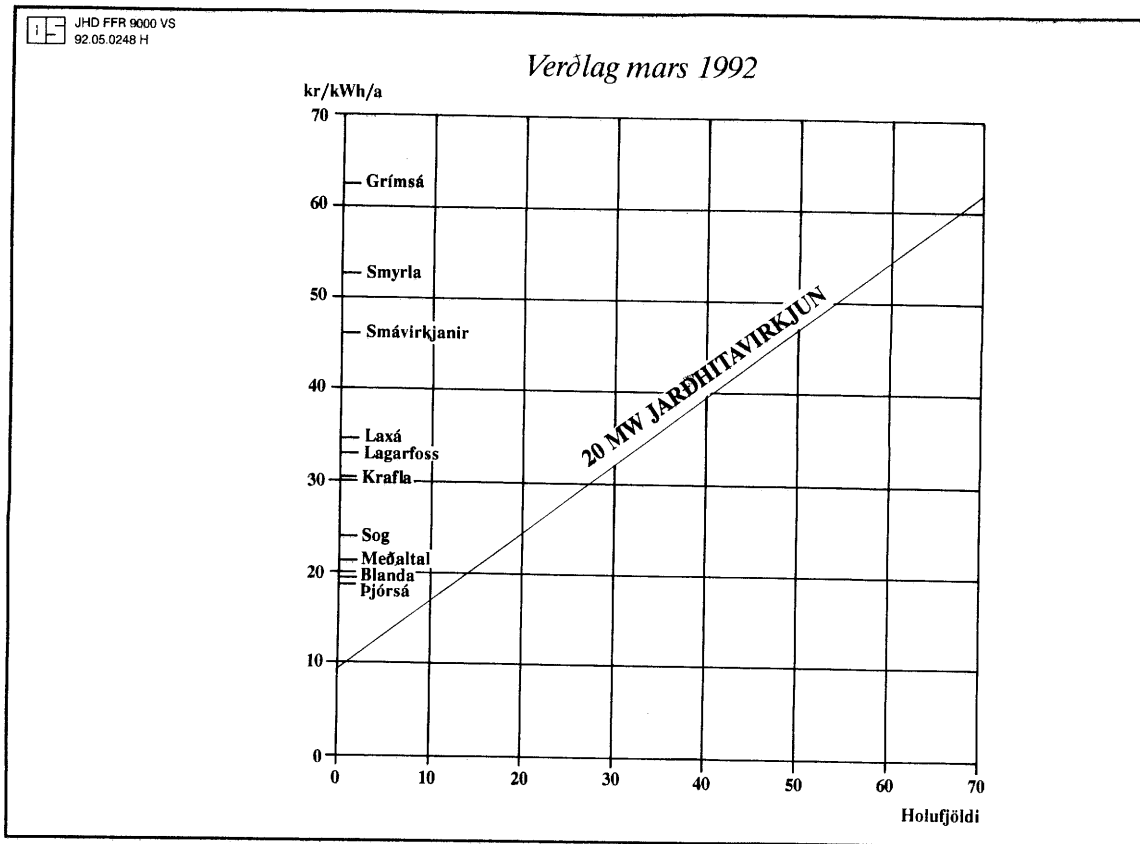
Svo sem fram hefur komið hér að ofan virðist virkjun jarðhita til raforkuvinnslu vera mun hagkvæmari en almennt hefur verið talið, og kostnaður við virkjun jarðhita mjög sambærilegur við virkjun vatnsorku. Í þessum kafla verða þessi atriði skoðuð nánar, en einnig dregið á önnur atriði sem eru einkennandi fyrir vatnsorkuvirkjanir annars vegar og jarðhitavirkjanir hins vegar.

6.1 Kostnaður

Til þess að bera saman vatnsaflsvirkjanir og jarðhitavirkjanir er hér talið heppilegast að gera það á því formi sem sýnt er á mynd 4, það er að gefa upp kostnað við jarðhitavirkjanir sem fall af þeim holufjölda sem þarf að bora fyrir viðkomandi jarðhitavirkjun. Samanburðinn má gera annað hvort á grundvelli einingarkostnaðar eins og mynd 5 sýnir, eða á grundvelli áætlaðs orkuverðs eins og mynd 6 sýnir.

Til þess að orkuverð frá 20 MW jarðhitavirkjunum verði sambærilegt við hagkvæma vatnsaflskosti eins og virkjanir á Þjórsársvæði og Blöndu, má fjöldi borhola alls ekki vera meiri en 10 fyrir svona virkjanir, eins og sést vel á mynd 6. Ef það þarf ekki nema 5 nýjar borholur til þess að standa undir 20 MW raforkuvinnslu (eins og búast má við í Bjarnarflagi) verður orkuverð frá slíkri virkjun jafnvel lægra en orkuverð frá virkjunum á Þjórsársvæðinu.

Við samanburð á áætlunum um jarðhitastöðvar og vatnsaflsstöðvar verður líka að taka tillit til þess að



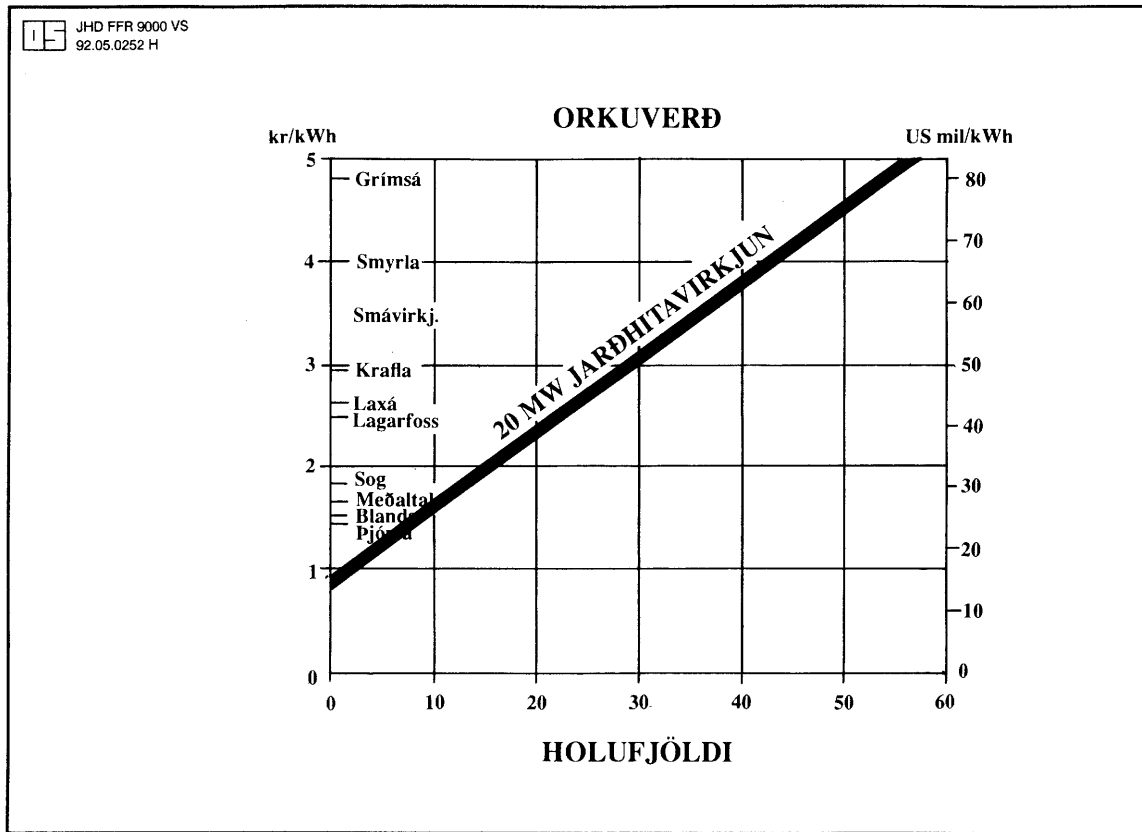
MYND 5. Samanburður á einingarkostnaði vatsaflsvirkjana og 20 MW jarðhitavirkjunnar.

skekkjumörk eru fyrir hendi í báðum tilvikum. Tölur 9 og 10 sýna hvernig áætlaður einingakostnaður Blöndu og Flótsdalsvirkunar hefur breyst í tímans rás (Jón Vilhjálmsson 1984).

TAFLA 9. Breytingar á áætluðu einingarverði Blönduvirkjunar.

Áætlun frá árinu	1973	1975	1982	1983	(1992)
Afl MW	122	135	150	150	150
Nýtingartími t	7000	5900	5300	5000	5000
Orkumáttur GWh/ár	850	800	790	750	750
Stofnkostnaður 1983 Mkr	1.670	1.780	2.240	2.890	
Stofnkostnaður 1992 Mkr	8.348	8.894	11.197	14.446	14.445
Einingarverð kr/kWh/ár	9,82	11,12	14,17	19,26	19,26

Tafla 9 sýnir að áætlað einingarverð Blönduvirkunar tvöfaldast á tímabilinu 1973-1983, en að áætlað verð í upphafi virkjunartímabils er það sama og raunverulegt verð virkjunar. Spönnin í áætluðu einingarverði Flótsdaldsvirkjunar er svipuð og fyrir Blönduvirkjun, en þar eru nýjustu áætlanir lægri vegna breyttrar virkjunaraðferðar (jarðgöng).



MYND 6. Samanburður á orkuverði vatnsaflsvirkjana og 20 MW jarðhitavirkjun.

TAFLA 10. Breytingar á áætluðu einingarverði Fljótsdalsvirkjunar.

Áætlun frá árinu	1970	1978	1982	1983	1992
Afl MW	300	295	252	252	210
Nýtingartími t	7000	6000	5300	5300	5500
Orkumáttur GWh/ár	2100	1770	1325	1325	1400
Stofnkostnaður 1983 Mkr	-	3.980	4.630	5.400	
Stofnkostnaður 1992 Mkr	-	19.895	23.145	26.994	21.065
Einingarverð kr/kWh/ár	-	11,24	17,47	20,37	15,05

Niðurstaðan af þessum athugunum er því sú, að það er mjög erfitt að bera saman virkjunarkosti, sem eru skammt á veg komnir í rannsóknum. Þessi varnagli gildir jafnt fyrir jarðhita og vatnsafl.

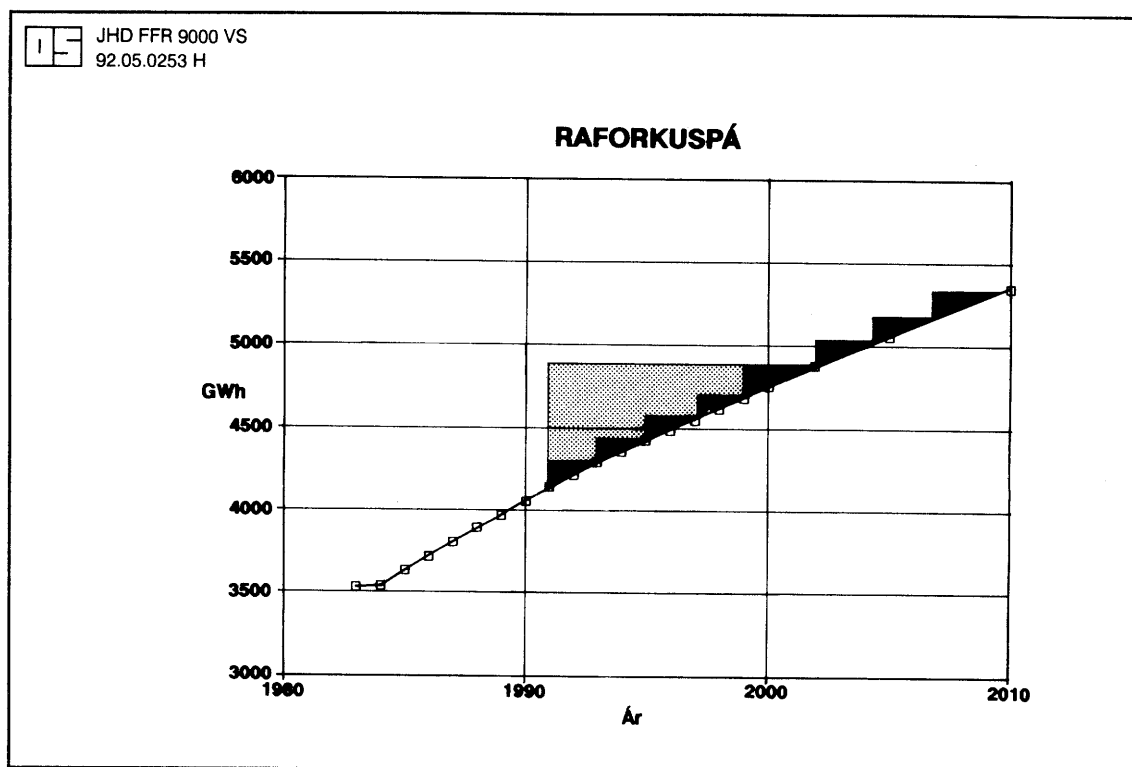
6.2 Aðlögun að markaði

Hagkvæmni stærðar er meginatriði fyrir orkuverð frá vatnsaflsstöðvum. Það þýðir að verð á orkueiningu er hlutfallslega minna fyrir stórar virkjanir heldur en fyrir smáar virkjanir. Þetta kemur

t.d. mjög skýrt fram í töflum 4 og 8 hér að framan. Fyrir jarðhitann er þetta lögmál um hagkvæmni stærðar ekki fyrir hendi, a.m.k. ekki á því stærðarbili virkjunar þar sem áhrifin koma fram við vatnsaflsvirkjanir. Að vísu má segja að lögmálið um hagkvæmni stærðar sé í gildi fyrir jarðhitavirkjanir á stærðarbilinu 0-5 MW (það er ekki hægt að bora minna en eina holu fyrir hverja virkjun), en ofan við þá stærð eykst hagkvæmni ekki með því að hafa virkjanir stærri. Umfjöllunin hér að framan í kafla 5, bendir meira að segja til að stærðin 10-20 MW sé hagkvæmasta stærð jarðhitavirkjana.

Hagkvæmni stórrar vatnsaflsvirkunar byggir á því að fyrir hendi sé markaður sem getur nýtt orkuna mjög fljótlega eftir að virkunin kemst í rekstur. Ef það tekur langan tíma að fullnýta hana verður orkuverð frá slíkri virkjun hærra en ef virkjun kemst fljótt í fullan rekstur. Markaðurinn setur þannig takmörk á þá stærð virkjunar sem hagkvæmt er að reisa hverju sinni.

Ef miðað er við áætlaða aukningu almenna raforkumarkaðsins á Íslandi, falla 20 MW jarðhitavirkjanir mun betur að markaðsaukningunni heldur en 100-200 MW vatnsaflsvirkjanir. Mynd 7 sýnir hvernig Blanda annars vegar og nokkrar 20 MW jarðhitavirkjanir falla að raforkuspá næstu ára.




MYND 7. Aðlögun Blöndu og 20 MW jarðhitasöðva að almenna raforkumarkaðnum.

Ef hins vegar er miðað við mjög stórstíga aukningu markaðsins, t.d. með tilkomu raforkufreks iðnaðar eða með útflutningu á raforku, verða eiginleikar vatnsorkuvirkjananna eflaust taldir heppilegri en mjög mikill fjöldi 20 MW jarðhitastöðva.

6.3 Virkjunarhraði og stórnotkun

Þó svo að stórar vatnsaflsstöðvar passi mjög vel til að taka við skyndilegri markaðsaukningu, er líka hægt að sinna slíkri þörf með 20 MW jarðhitavirkjunum. Ef slíkur framgangsmáti er valinn, verður að leggja undir mörg jarðhitasvæði, eða virkjunarstaði og dreifa uppsetningu eininganna á marga staði.

Mynd 8 sýnir dæmi um virkjanatilhögun, þar sem virkjunarhraði er 20 MW á ári. Til þess að sinna þessum virkjunarhraða þarf að hafa a.m.k. fjóra virkjunarstaði til þess að dreifa virkjunum á. Þar sem ekkert má fara úrskeiðis við slíka tilhögun, er gert ráð fyrir því í mynd 8 að fimm virkjunarstaðir séu teknir fyrir, þannig að eitt svæði sé upp á að hlaupa ef eitthvað kemur upp á. Ef menn kjósa enn meiri virkjunarhraða þarf að leggja undir hlutfallslega fleiri virkjunarstaði. Ef menn vilja t.d. halda virkjunarhraða 100 MW á ári, þarf að leggja undir 25 virkjunarstaði.

 JHD FFR 9000 VS 92.05.0254 H										
ÁR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BJARNARFLAG	▼				▼				▼	
ÖXARFJÖRÐUR		▼				▼				▼
HVERARÖND			▼							
ÞEISTAREYKIR				▼				▼		
FREMRI NÁMAR							▼			

MYND 8. Virkjanatilhögun þar sem virkjunarhraði er 20 MW á ári.

7. ÁTAK Í HÁHITARANNSÓKNUM

Í þessari grein er sýnt fram á að virkjun jarðhita til raforkuvinnslu geti í mörgum tilvikum verið heppilegur kostur í mjög náninni framtíð. Til þess að svo megi verða er nauðsynlegt að gera átak í rannsókn háhitasvæða og athuga nánar hvernig vinnsla raforku úr jarðhita verður hagkvæmust.

7.1 Markmið

Markmið háhitarannsóknanna verður fyrst og fremst að hafa á hverjum tíma nægilega marga jarðhitakosti tilbúna til virkjunar til þess að raunhæft mat milli kosta í vatnsorku og jarðhita geti átt sér stað og hagkvæmasti virkjunarkostur valinn hverju sinni.

Annað markmið rannsókna er að auka almenna þekkingu á forðafræðilegum eiginleikum háhitasvæða. Fyrirsjáanlegt er að virkjunarhraði á háhitasvæðum mun fyrst og fremst ákvarðast af forðafræðilegum athugunum á jarðhitakerfum í nýtingu. Það er því heppilegt að nýta næstu ár til þess að styrkja fræðilegan grundvöll þessarar starfsemi.

Þriðja markmið rannsókna er að gera nákvæma úttekt á fjárhagslegum rekstri jarðhitavirkjana, og athuga nákvæmlega hvernig samrekstri jarðhita- og vatnsaflstöðva verður best háttað.

7.2 Staða rannsókna

Í þessum kafla er lagt mjög gróft mat á stöðu vatnsorkurannsókna annars vegar og stöðu háhitarrannsókna hins vegar. Reikningsaðferðir eru grófar, og rétt að hafa í huga að skekkjumörk eru mjög mikil. Tafla 11 sýnir vatnsaflsvirljanir á útboðs- eða verkhönnunarstigi (Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen 1985).

TAFLA 11. Vatnsaflsvirkjanir á útboðs eða verkhönnunarstigi

	Stofnkostnaður Mkr	Orkumáttur GWh/ár	Einingarverð kr/kWh/ár
Fljótsdalsvirkjun	21.066	1400	15,05
Búrfell II + 5.áf.Kv.v. +stækkun Þórisv.miðl.	21.170	530	39,95
Villinganes	2.901	190	15,27
Sultartangi	13.757	660	20,84
Vatnsfell	5.803	430	13,50
SAMTALS	64.697	3210	20,15

TAFLA 12. Vatnsorkukostir á samræmdu forathugunarstigi.

	Stofnkostnaður Mkr	Orkumáttur GWh/ár	Einingarverð kr/kWh/ár
Stafnsvatnavirkjun	13.542	800	16,93
Efri-Þjórsá	24.397	1500	16,26
Búðarháls-Langalda	10.103	580	17,42
Bjallavirkjun	8.276	380	21,78
Tungnárlón	4.514	280	16,12
Íshólsvatnsvirkjun	8.168	500	16,34
Efstadalsvirkjun	2.687	160	16,79
Urriðafossvirkjun	16.659	880	18,93
Búðarfossvirkjun	10.748	680	15,81
Núpsvirkjun	10.963	520	21,08
SAMTALS	110.057	6.280	17,52

Ef við gerum ráð ftrir að kostnaður við að koma virkjunarkostum á útboðs- og verkhönnunarstig sé 3% af virkjunarkostnaði (Jón Ingimarsson o. fl. 1982), má gera ráð fyrir að samanlagður rannsóknarkostnaður við þessa virkjunarkosti sé 1940 Mkr. Tafla 12 sýnir vatnsaflskosti á samræmdu forathugunarstigi (Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen 1985).

Ef gert er ráð fyrir að kostnaður við rannsóknir á samræmdu forathugunarstigi sé 0,4% af virkjunarkostnaði (Jón Ingimarsson o.fl. 1982) er samanlagður kostnaður við rannsóknir á þessum virkjunarkostum um 440 Mkr.

Í töflu 13 eru taldir kostir þar sem önnur forathugun hefur verið gerð (Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen 1985).

TAFLA 13. Önnur forathugun á virkunarkostum.

	Stofnkostnaður Mkr	Orkumáttur GWh/ár	Einingarverð kr/kWh/ár
Jökulsá á Fjöllum + Jökulsá á Dal	118.226	9000	13,14
Hestvatn	7.308	280	26,10
Hraunavirkjun	37.617	2000	18,81
Berufjarðarvirkjun	7.093	500	14,19
Fjarðarár­virkjun	3.439	120	28,66
Hvalárvirkjun	5.374	220	24,43
SAMTALS	179.057	12.120	14,77

Á sama hátt og áður er rannsóknarkostnaður við þessa vatnsaflskosti talinn vera 0,4% af virkjunarkostnaði, eða 716 Mkr.

Að lokum eru taldir í töflu 14 nokkrir virkjunarkostir á fyrsta forathugunarstigi (Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen 1985).

TAFLA 14. Virkjunarkostir á fyrsta forathugunarstigi.

	Stofnkostnaður Mkr	Orkumáttur GWh/ár	Einingarkostur kr/kWh/ár
Skaftá - Hverfisfljót	16.122	2000	8,06
Efri Hvítá - Hagavatn	35.038	2130	16,45
Lagarfoss	6.664	400	16,66
SAMTALS	57.824	4.530	12,76

Fyrir þessa virkjunarkosti er rannsóknarkostnaður talinn vera 0,2% af virkjunarkostnaði, eða 115 Mkr.

Samanlagður rannsóknarkostnaður við þá virkjunarkosti sem taldir eru í töflum 11-14 eru 3211 Mkr. Í töflum 11-14 eru einungis taldir þeir kostir, þar sem upplýsingar um stofnkostnað fundust með lítilli leit.

Til þess að meta fyrirbyggjandi verðmæti í háhitarannsóknnum er notast við þá nálgun að borkostnaður sé 85% af öllum rannsóknakostnaði háhitasvæða. Með því að meta fyrirbyggjandi rannsóknarholur til verðs fæst gróft verðmætamat á fyrirbyggjandi rannsóknum. Verð einnar holu er talið vera 90 Mkr.

Í töflu 15 eru taldar upp fyrirbyggjandi rannsóknarholur og þær metnar til verðs.

TAFLA 15. Rannsóknarholur á háhitasvæðum sem ekki eru í nýtingu.

	Verðmæti Mkr
Eldvörp. 1 hola frá 1983	90
Krísuvík-Trölladyngja. 3 holur frá 1960, hrundar + 5 grunnar og mjóar holur, sem ekki hafa blásið. Talið samsvara 2 holum.	180
Vestur-Hengill. 1 hola frá 1985	90
Hveragerði. 8 grunnar holur frá 1960. Talið samsvara 3 holum.	270
SAMTALS	630

Að því gefnu að borkostnaður sé 85% af öllum rannsóknarkostnaði háhitasvæða er samanlagt verðmæti háhitarannsókna 741 Mkr.

Samanburður á vatnsorku- og háhitarannsóknnum á þessum nótum bendir til að samanlagt verðmæti vatnsorkurannsókna sé um fjórum sinnum meira en samanlagt verðmæti háhitarannsókna.

Það er líka eftirtektarvert að einu rannsóknarholurnar, sem boraðar hafa verið á háhitasvæðum á síðast liðnum 15 árum voru ekki kostaðar af ríkissjóði, heldur af orkufyrirtækjum. Þær rannsóknarholur í töflu 15, sem upphaflega voru kostaðar af ríkissjóði eru nú um 30 ára gamlar, og sumar þeirra eru orðnar hættulegar vegna skorts á viðhaldi.

Niðurstaða þessara athugana er sú að háhitarannsóknir séu mjög illa á vegi staddar, og að það þurfi að gera verulegt átak í slíkum rannsóknum til þess að það sé nokkur von til þess að hægt verði að meta jarðhitakosti á jafnræðisgrundvelli við vatnsorku á komandi tímum.

7.2 Rannsóknarhraði

Umfang orkurannsókna, bæði á sviði jarðhita og vatnsafls, á næstu 5-10 árum ákvarðast af þeirri markaðsþróun sem menn gera ráð fyrir að verði á fyrstu tugum næstu aldar. Ef menn vilja vera við því búnir að auka raforkufrekan iðnað í landinu í byrjun næstu aldar, eða vera við því búnir að markaður opnast fyrir útflutning á raforku, þarf að nýta tímann til aldamóta vel til undirbúnings.

8. NIÐURSTÖÐUR

Helstu niðurstöður fyrirbyggjandi athugana eru þessar:

- * Jarðhitinn er talinn vera tveim stærðargráðum stærri orkulind en vatnsorka.
- * Hagkvæmur hluti jarðhitans til raforkuvinnslu er talinn vera af svipaðri stærð og hagkvæmur hluti vatnsorku.

- * Vinnsla raforku úr vatnsorku er núna stærðargráðu meiri en vinnsla raforku úr jarðhita.
- * Meðal einingarverð frá starfandi rafstöðvum er 21 kr/kWh/ár, og meðal orkuverð þeirra er 1,64 kr/kWh.
- * Einingar- og orkuverð Kröflu fellur innan kostnaðarmarka starfandi vatnsaflsstöðva.
- * Borkostnaður í Kröflu var í byrjun líftill hluti af virkjunarkostnaði.
- * Borkostnaður í Kröflu á árunum 1975-1979 var jafn hár og vaxtakostnaður virkjunarinnar fram til ársloka 1978.
- * Heppilegt er talið að virkja öll háhitasvæði í 20 MW þrepum.
- * Einingar- og orkuverð 20 MW jarðhitavirkjana virðist vera sambærilegt við hagkvæma vatnsaflskosti.
- * Nauðsynlegt er að endurskoða rekstrarkostnað jarðhitavirkjana, endurmeta afskriftartíma og þörf fyrir viðbótarboranir í rekstri.
- * 20 MW jarðhitavirkjanir falla mjög vel að aukningu almenna raforkumarkaðsins.
- * Vatnsaflsvirkjanir falla mjög vel að snöggri breytingu raforkumarkaðsins vegna tilkomu raforkufreks iðnaðar, en það er líka hægt að halda uppi miklum virkjunarhraða með 20 MW jarðhitaeiningum.
- * Staða háhitarannsóna vegna mögulegrar vinnslu raforku er mun verr á vegi stödd heldur en sambærileg staða í vatnsaflsrannsóknum.
- * Æskilegt er að það liggi jafnan fyrir sambærilegir kostir í jarðhita og vatnsorku til þess að hægt sé hverju sinni að velja hagkvæmustu virkjunarleið.
- * Gera þarf átak í háhitarannsóknum á næstu 5-10 árum til þess að raunverulegt mat geti farið fram á milli kosta í jarðhita og vatnsorku.
- * Sérstakt samvinnuverkefni Orkustofnunar, Landsvirkjunar, Hitaveitu Reykjavíkur og Hitaveitu Suðurnesja um rannsóknir háhitasvæða og nýtingu jarðhita til raforkuvinnslu er nýlega hafið. Vonast er til að þessi samvinna Orkustofnunar og orkufyrirtækjana muni þoka þessum málum áleiðis.

HEIMILDIR

Guido Cappetti and Romano Celati, 1986: Optimal Exploration of High-Enthalpy Geothermal Reservoirs. Paper presented at the United Nations Workshop on Geothermal Energy, Reykjavík 15-20 September 1986.

Iðnaðarráðuneytið, 1980: Kröfluvirkjun. Skýrsla iðnaðarráðherra vegna óska frá Alþingi á þingskjali 398. 20 bls.

- Jakob Björnsson, 1991: Staða og horfur í orkumálum Íslands. Erindi flutt á Orkuþingi 1991.
- Jón Ingimarsson, Birgir Jónsson, Davíð Egilson og Freysteinn Sigurðsson, 1982: Undirbúningur vatnsaflsvirkjana. Markmið og framkvæmd. Skýrsla Orkustofnunar OS-82075/VOD-12, 30 bls.
- Jón Vilhjálmsson, 1984: Samanburður virkjunarkosta á fyrstu rannsóknarstigum. Skýrsla Orkustofnunar OS-84006/OBD-01, 78 bls.
- Valgarður Stefánsson, Ólafur G. Flóvenz og Sverrir Þórhallson, 1991: Ný viðhorf til virkjunar jarðhita til raforkuframleiðslu. Erindi flutt á Orkuþingi 1991.
- Valgarður Stefánsson, Gestur Gíslason, Helgi Torfason, Lúðvík S. Georgsson, Stefán Sigurmundsson og Sverrir Þórhallson, 1982: Áætlun um skipulegar rannsóknir á háhitasvæðum landsins. Skýrsla Orkustofnunar OS-82093/JHD-13, 176 bls.
- Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen, 1990: Afl og orkukostnaður. Hönnunarforsendur. Reykjavík september 1990.
- Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen, 1985: Virkjanalíkan Orkustofnunar. Skýrsla Orkustofnunar OS-85121/VOD-07.