



ORKUSTOFNUN

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Ársfundur Orkustofnunar 1991

OS-910010

21. mars 1991

ÁRSFUNDUR ORKUSTOFNUNAR 1991

Haldinn fimmtudaginn 21 mars kl 13:30 að Borgartúni 6

Dagskrá:

- 13:30 *Ávarp Iðnaðarráðherra, Jóns Sigurðssonar.*
- 13:40 *Starfsemi Orkustofnunar og framtíðarsýn í íslenskum orkumálum:* Jakob Björnsson, Orkumálastjóri.
- 14:20 *Umhverfisáhrif af vinnslu og nýtingu jarðhita:* Halldór Ármannsson, efnaverkfræðingur.
- 15:00 Kaffihlé.
- 15:20 *Vatnsorkulindir landsins, átak í grunnrannsóknnum:* Haukur Tómasson, forstjóri Vatnsorkudeildar.
- 16:00 *Umræður.*
- 16:10 *Fundarslit:* Sigbór Jóhannesson, formaður stjórnar Orkustofnunar.
- 16:20 Yfirlitssýning á jarðhitakortlagningu landsins og um vinnslueftirlit á lághitasvæðum; dæmi frá Hitaveitu Þorlákshafnar. Boðið upp á léttar veitingar.
- 17:20 Dagskrárlok

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

Fundarstjóri: Guðmundur Pálmason, forstjóri Jarðhitadeildar.



STARFSEMI ORKUSTOFNUNAR 1990 OG FRAMTÍÐARSÝN

Í ÍSLENSKUM ORKUMÁLUM

Jakob Björnsson, orkumálastjóri

1. Inngangur

Ég mun í mínu erindi fyrst ræða um starfsemi Orkustofnunar á árinu 1990, en síðan reyna að bregða upp sviðsmynd af hugsanlegri stöðu í nýtingu orkulindanna íslensku eftir fjóra áratugi eins og hún gæti orðið ef stefna stjórnvalda í þeim efnum ber góðan árangur, og ræða síðan hvaða verkefni slík staða leggur á herðar Orkustofnun á tímanum fram að aldamótum. Á eftir mér mun Halldór Ármannsson tala um umhverfisáhrif af vinnslu og notkun jarðhita. Umhverfi mannsins er nú í brennidepli umræðu um allan heim; ekki síst áhrifin á það af orkunotkun mannsins og nýtingu orkulinda. Við höfum mikið heyrt talað um gróðurhúsaáhrif og aðrar afleiðingar af brennslu eldsneytis. Hér á landi hefur einnig verið talsvert rætt og deilt um áhrif vatnsaflsvirkjana á umhverfi sitt; hvort Gullfoss og Dettifoss muni hverfa og margt fleira í þeim dúr. En minna hefur verið talað um jarðhitann. Hefur nýting hans yfirleitt áhrif á umhverfið? Þá spurningu og fleiri slíkar mun Halldór einmitt fjalla um í erindi sínu. Það er vissulega tímabært að taka þetta efni til meðferðar. Loks mun Haukur Tómasson gera grein fyrir sérstöku átaksverkefni í vatnsorkurannsóknum næstu fimm árin sem nú er í undirbúningi og væri hið fyrsta af þeim verkefnum sem Orkustofnun þarf að sinna á næstunni til undirbúnings undir áframhaldandi nýtingu orkulindanna í stórum stíl. Á frumstigi undirbúnings er samsvarandi átaksverkefni í rannsóknum á háhitasvæðum með raforkuvinnslu þar í stórum stíl fyrir augum.

2. Orkustofnun 1990

2.1 Vatnsorka

Eins og ég gat um og mun víkja aftur að síðar er nú í undirbúningi áætlun um **átak í vatnsorkurannsóknum á næstu fimm árum**. Hún miðar að því að undirbúa á þessum tíma hönnun nýrra virkjana sem skilað gætu 3500 - 4000 GWh ársorku um eða upp úr aldamótum. Hagkvæmstu virkjunarkostir hérlendis eru fyllilega samkeppnisfærir við ódýrustu möguleika til vinnslu á raforku víðast hvar í heiminum. Líkur eru á að aðgerðir sem taldar verða nauðsynlegar til að draga úr raforkuvinnslu með eldsneyti, vegna óttans við gróðurhúsaáhrifin, muni styrkja samkeppnisstöðu vatnsorkunnar og háhitans hjá okkur.

Á árinu var unnið áfram að því að endurbæta virkjanalíkan Orkustofnunar, m.a. forsendur þess um kostnað við jarðgöng á grundvelli raunkostnaðar við göngin í Blönduvirkjun og við Múlagöng. Hönnun á tölvutækum gagnabanka um virkjanir er langt komin, en tilkoma hans mun auðvelda mjög að átta sig á stöðu rannsókna og úrvali virkjunarkosta á hverjum tíma.

Á vegum Samstarfsnefndar Iðnaðarráðuneytisins og Náttúruverndarráðs um orkumál, SINO, unnu starfsmenn Orkustofnunar, Landsvirkjunar og Náttúruverndarráðs að yfirliti yfir fyrir-sjáanlega áreksra milli virkjunarhagsmuna og annara nýtingarhagsmuna, svo sem náttúru-

verndar, útivistar og hlunninda, á einstökum virkjunarstöðum víðs vegar um land. Verk þetta er unnið samkvæmt ályktun Alþingis frá 24. apríl 1989 og er grundvallarverk til þess að lög-gjafinn geti tekið á slíkum hagsmunaaðrekstrum með skipulegum en ekki handahófskenndum hætti.

Af rannsóknnum á einstökum virkjunarsvæðum er það helst að fréttu að á árinu var unnið að forathugun á virkjun vatns af Hraunum, hálendissvæðinu norðaustur af Vatnajökli. Settir voru upp vatnshæðarmælar við ýmis vötn sem falla af Hraunum og rennismælingar gerðar. Lokið var bráðabirgðaútgáfu jarðfræðikorta af virkjunarsvæði Jökulsár á Dal. Mælt var fyrir viðbótarkortum af svæði milli Jökulsár á Fjöllum og Jökulsár á Dal sem hugsanlegar veituleiðir lægju um og rannsóknir á grunnvatni fóru fram í tengslum við virkjun Jökulsár eystri og vestari í Skagafirði. Nákvæmum afkomumælingum var haldið áfram á norðanverðum Hofsjökli til samanburðar við mælt rennsli vatna frá honum, og viðbrögð jökulsins við hækkandi hita, t.d. af völdum gróðurhúsaáhrifa, voru prófuð í reiknilíkani.

Fram var haldið samvinnuverkefni Orkustofnunar og Landsvirkjunar um jarðfræðikortlagningu á virkjunarsvæðum Tungnaár og Þjórsár og gengið frá tveimur kortblöðum til prentunar. Stefnt er að lokum útvinnu við þetta verk á árinu 1991.

Fyrir Landsvirkjun var mælt vegna kortagerðar við Grjóta á Fljótsdalsheiði og séð um eftirlit með borun á leið jarðganga Fljótsdalsvirkjunar, ásamt prófunum á borkjarna og í holunum og úrvinnslu þeirra prófana. Fyrir Landsvirkjun voru einnig settir vatnshæðarmælar í nokkur vötn sem veitt verður til Fljótsdalsvirkjunar.

Unnin voru ýmis söluverk fyrir Vegagerðina, Hafnarmálastofnun og sveitarfélög. Gengið var frá samningum milli Orkustofnunar og sveitarfélaga á höfuðborgarsvæðinu, að einu undanskildu, um gerð jarðfræðikorta af því. Að verki þessu, sem ráðgert er að ljúki 1994, munu vinna jarðfræðingar frá bæði Vatnsorkudeild og Jarðhitadeild Orkustofnunar, en einnig frá Reykjavíkurborg, Náttúrufræðistofnun, Háskólanum, Hitaveitu Reykjavíkur og sjálfstætt starfandi jarðfræðingar. Orkustofnun annast umsjón og samræmingu.

2.2 Jarðhiti

Á árinu var fram haldið vinnu við tölvuvæddan gagnabanka fyrir jarðhitagögn á Orkustofnun.

Fram var einnig haldið vinnu við að gera þrívítt hermilíkan af jarðhitasvæðinu við Hvíthól hjá Kröflu, en þetta er í fyrsta sinn sem reynt er á Orkustofnun að herma tveggja fasa háhitakerfi í þrívíðu reiknilíkani. Sömuleiðis var haldið áfram að gera hermilíkon af lághitasvæðum sem gera það kleyft að spá fyrir um vinnslugetu þeirra næstu einn til tvo áratugi. Þau líkön eru að jafnaði miklu einfaldari en af háhitasvæðunum, en engu þýðingarminni, einkum fyrir starfandi hitaveitur.

Helsta verkefni ársins við þróun mælitækni og aðferða, sem er mikilvægt verkefnasvið á Jarðhitadeild, var fullkomin tölvuvæðing borholumælinga í stærsta mælingabíl stofnunarinnar. Hún gerir alla úrvinnslu slíkra mælinga mun fljótvirkari en áður og eykur um leið gæði úrvinnslunnar. Nú er að því unnið að koma tölvu mælingabílsins í beint samband við móðurtölvu stofnunarinnar, en það eykur verulega möguleika þessarar nýju úrvinnslutækni.

Endurbætur voru gerðar á aðferðum og tækjum til að mæla millirennslu milli innstreymisrása í sömu borholu. Hefur þetta skilað stórum betri niðurstöðum en áður fengust, en gera þarf þó enn betur. Þróuð hefur verið aðferð til töku á djúpsýnum sem gerir það kleyft að ákvarða styrk

súrefnis á mismunandi dýpi í borholu, en innstreymi á súrefnisríku vatni niður í jarðhitakerfin valda hitaveitum stundum erfiðleikum í rekstri.

Áfram var einnig haldið smíði tækja til að skynja og mæla viðnám jarðar niður á eins til fjögurra kílómetra dýpi, og þróun hugbúnaðar til að vinna úr mæligögnum frá þeim. Þetta verk er á lokastigi. Einnig voru gerðar tilraunir til mælinga á jarðstraumum með AMT-tækjum stofnunarinnar, og lofa þær tilraunir góðu.

Í jarðhitaefnafræði var m.a. unnið að þróun aðferða til greininga á þungmálmum og útfellingum.

Haldið var áfram gerð jarðhitakorts af Íslandi. Því verki lýkur væntanlega 1991. Gerðar voru bylgjubrotsmælingar á Suður- og Vesturlandi í samvinnu við Lamont-Doherty jarðfræðistofnunina í Bandaríkjunum, með styrk úr Vísindasjóði og Vísindasjóði Bandaríkjanna. Niðurstöðurnar munu gefa mikilvægar upplýsingar um jarðskorpuna undir Íslandi.

Samið var við BRGM í Orléans í Frakklandi um samstarf í jarðhitarannsóknum og hafði franskur jarðfræðingur aðsetur á Orkustofnun í um það bil sjö mánuði 1990.

Jarðhitadeild lagði fram starf við könnun þá á orkunýtingu hitaveitna og jarðhitahlutann í nýja spá um orkuþörf til húshitunar sem getið er um í kaflanum um Orkubúskapardeild.

Jarðhitadeild vann sem fyrr mörg söluverk fyrir hitaveitur og aðra nýtendur jarðhita í landinu. Fyrir **Hitaveitu Reykjavíkur** annaðist deildin eftirlit með jarðhitasvæðinu á Nesjavöllum, þar sem m.a. voru gerðar hæðar- og þyngdarmælingar í norðurhlíðum Hengilsins til undirbúnings því að meta áhrif vinnslunnar á svæðið. Í samvinnu við Hitaveituna var áfram unnið að gerð jarðfræðikorts af suður- og vesturluta Hengilsvæðisins. Höfð var tæknileg umsjón með fóðrun borhola á Elliðaáarsvæðinu í Reykjavík í því skyni að minnka innstreymi á köldu vatni í jarðhitageyminn. Sérfræðingur frá Jarðhitadeild tók að ósk Hitaveitunnar þátt í vinnuhópi til að gera úttekt á útfellingarvandamálum sem gerðu vart við sig eftir að Nesjavallavirkjun var tengd dreifikerfinu á höfuðborgarsvæðinu haustið 1990.

Fyrir **Hitaveitu Suðurnesja** var haft hefðbundið eftirlit með vinnslunni í Svartsengi og á Reykjanesi og unnið var áfram að gerð jarðfræði- og jarðhitalíkans af Svartsengi og lögð á ráð um skipulag og tilhögun á eftirliti með háhitasvæðunum á utanverðum Reykjanesskaga í framtíðinni.

Fyrir **Landsvirkjun** var sem fyrr haft eftirlit með háhitasvæðunum við Kröflu og í Bjarnarflagi. Hönnuð var borhola, KG-25, sem Landsvirkjun lét bora við Kröflu til að fá úr því skorið hvort áhrif kvikugasa frá eldgosahrinunni 1975 - 1984 væru um garð gengin á Vítismóasvæðinu norðan Hlíðardals. Holan var staðsett af Orkustofnun sem samdi verklýsingu, annaðist umsjón með borun, rannsóknir og mælingar í holunni, úrvinnslu þeirra og túlkun á niðurstöðum. Fylgst var með afli holunnar og efnainnihaldi vökvans úr henni fram yfir áramót.

Fyrir **Hitaveitu Akureyrar** var höfð umsjón með borun á Þelamörk og gerðar umfangsmiklar mælingar í holu þar og öðrum eldri holum í nágrenninu. Undirbúningur var hafinn undir niðurdælingu vatns á vinnslusvæðum Hitaveitunnar sem ráðgert er að hefjist 1991.

Unnið var að rannsóknum til undirbúnings borunum, eða í tengslum við þær, fyrir fjölmarga víðs vegar um land; hitaveitur, fiskeldisstöðvar og einstaklinga. Má þar nefna m.a. **Hitaveitu**

Selfoss og Hitaveitu Siglufjarðar.

Í könnun orkulinda á hafsbotni var á árinu lögð áhersla á úrvinnslu gagna sem aflað hefur verið í leiðöngrum á Jan-Mayen hrygg og Hatton-Rockall grunninn, og túlkun þeirra. Stofnunin fékk í hendur ýmis frumgögn úr erlendum leiðöngrum við landið sem eftir er að túlka. Á árinu lauk tölvuúrvinnslu úr gögnum frá norsk-íslenskum leiðangri á Jan-Mayen hrygginn 1988, og voru niðurstöður afhentar norskum samstarfsaðilum. Næsta stig er sameiginleg túlkun.

Í Jarðhitaskólanum voru 11 styrkþegar frá 7 löndum, og auk þess komu 5 menn frá tveimur löndum til skemmri dvalar. Frá því að skólinn hóf starfsemi sína 1979 hafa alls 93 styrkþegar frá 20 þróunarlöndum útskrifast þar eftir sex mánaða nám, auk 30 manna sem dvalið hafa frá tveimur vikum til þriggja mánaða. Margir nemendur Jarðhitaskólans frá fyrri árum eru nú leiðandi sérfræðingar í jarðhitarannsóknum í sínum heimalöndum. Mér er til efs að dæmi gefist nokkursstaðar um markvissari þróunaraðstoð. Hlutfall þróunaraðstoðar af vergri landsframléiðslu segir ekki alla söguna þegar lönd eru borin saman í þessu efni, þótt vissulega mætti hlutfallið vera hærra hjá okkur.

Af erlendum jarðhitaverkefnum á árinu er það helst að segja að Orkustofnun vann alla sérfræðivinnu við verkefni í Djibouti sem lauk á árinu og unnið var af Orkustofnun erlendis h.f. í undirverktöku fyrir Virki-Orkint h.f. Fram var haldið verkefni á Milos í Grikklandi. Fulltrúar frá Orkustofnun tóku þátt í ferð til Kamsjatka í austurhluta Sovétríkjanna, en þar er mikill áhugi á samstarfi við Íslendinga, meðal annars á jarðhitasviðinu.

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. Orkubúskapardeild tók þátt í samstarfi í undirnefndum á vegum hennar.

Unnið var fyrir Orkuspárnefnd að nýrri raforkuspá og spá um orkunotkun til húshitunar. Við síðasttöldu spána er m.a. stuðst við beinar úrtaksmælingar sem unnið var úr á árinu. Áhrif veðurfars á raforkunotkun voru endurmetin. Ráðgert er að orkuspár þessar komi út á fyrri hluta þessa árs, 1991.

Fram var haldið, í samvinnu við Landsvirkjun, athugununum og samanburði á leiðum til að sjá fyrir raforkuþörf landsmanna næstu áratugi með og án álvers.

Orkubúskapardeild tók þátt í vinnuhóp um rekstrartruflanir í raforkukerfinu ásamt með nokkrum helstu orkufyrirtækjum landsins og ráðgjöfum. Mun Orkustofnun í framtíðinni annast skráningu á slíkum truflunum fyrir allt raforkukerfi landsins, eftir upplýsingum frá orkufyrirtækjunum, og úrvinnslu þeirra upplýsinga til yfirlits.

Hagfræðistofnun Háskóla Íslands vann á árinu fyrir Orkubúskapardeild að athugun á samhæfingu orkugjafa til hitunar og raforkuvinnslu.

Sem fyrr segir kom í ársbyrjun út skýrsla um orkuverð á Íslandi 1989. Unnið var að samskonar skýrslu um orkuverð 1990 sem er væntanleg snemma árs 1991.

Í samvinnu við Iðnaðarráðuneytið, Samband íslenskra hitaveitna og fimmtán einstakar hitaveitur var mæld orkunýting til húshitunar hjá þessum veitum í því skyni að kanna raunverulegan kostnað notenda við hitun húsrýmis og skýra kostnaðarmun einstakra notenda sem oft kemur fram. Unnið er að úrvinnslu og skýrsla er væntanleg snemma á árinu 1991.

Fulltrúi frá Orkustofnun starfar, ásamt fulltrúum Landsvirkjunar og Rafmagnsveitna ríkisins, með nefnd sem iðnaðarráðherra skipaði haustið 1990, samkvæmt tilnefningu þingflokka, til að gera tillögur um jöfnun orkuverðs.

2.4 Fiskeldi

Þessu verkefni, sem staðið hefur síðan 1987, lauk að mestu á árinu, en nokkur úrvinnsla og frágangur er enn eftir. Mælt var í lindum og bætt við mælingum á grunnvatnsborði í hraunum í Aðaldal; mælingum á rennsli á helstu lindasvæðum í Landbroti lauk og tekin voru þar sýni til efnagreiningar. Gangnaöflun lauk að mestu á suðurströnd Reykjanesskagans, en nokkur úrvinnsla er enn eftir. Nokkrum viðnámsmælingum var bætt við í Hnappadal til að afmarka betur jarðhitasvæði þar.

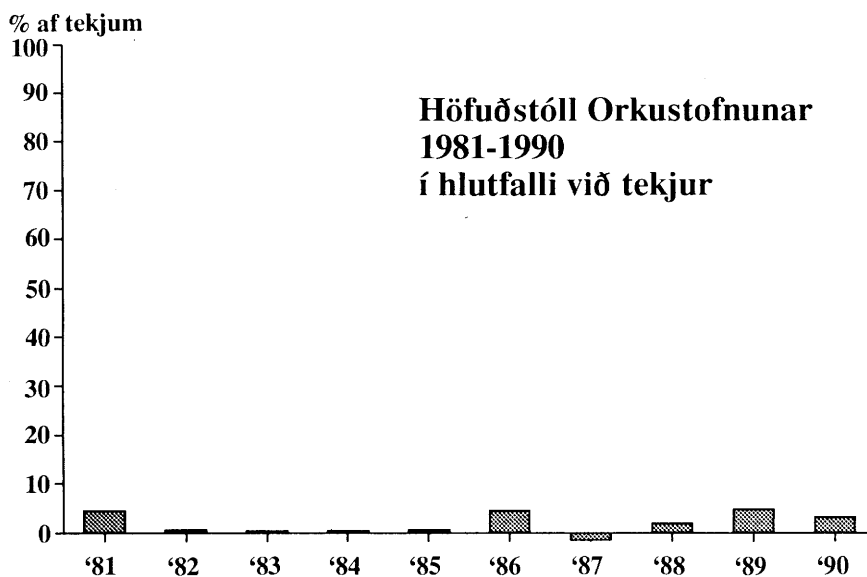
2.5 Fjármál

Útgjöld Orkustofnunar á árinu 1990 námu alls 330 milljónum króna en tæpum 297 milljónum króna árið 1989. Að raunvirði lækkuðu útgjöldin um 3 % milli þessara ára. Fjárveitingar námu alls 214 milljónum króna, að meðtalinni 1,5 Mkr. fjárveitingu á fjárukalögum ársins til óvæntrar greiðslu á biðlaunum til starfsmanns sem áður vann hjá stofnuninni og ráðuneytið ákvað að hún skyldi greiða, en 212,5 Mkr. að henni frátalinni. Fjárveitingar 1989 námu 201 milljón, þannig að þær drógust saman að raunvirði á árinu 1990 um 7,8 % . Sértekjur fyrir selda þjónustu námu 112,5 milljónum króna 1990 en 101,8 1989, sem tákna samdrátt um 3,7 % milli þessara ára. Sértekjur Orkustofnunarinnar hafa dregist saman ár frá ári síðan 1985, en hægar nú síðustu árin. Fjárveitingar hafa einnig dregist saman frá 1985, en mun minna að til- tölu en sérstekjurnar.

Ég verð enn að ítreka það sem ég hefi sagt á fyrri ársfundum að það stefnir vissulega í öfuga átt að fjárveitingar til Orkustofnunar dragist saman ár frá ári jafnframt því að stjórnvöld markað þá stefnu að auka nýtingu orkulindanna. Í þessu tvennu er ekki samræmi.

Eins og undanfarin ár var snemma á árinu gerð ítarleg áætlun um val verkefna og kostnað við hvert og eitt, sem síðan var endurskoðuð þegar leið á árið. Beitt var eins og áður ströngu aðhaldi í útgjöldum með þeim árangri að höfuðstóll var jákvæður í árslok um 3,2 % af tekjum, borið saman við 4,6 % í lok árs 1989. Sem fyrr stafar hluti þessa jákvæða höfuðstóls af því að vegna aðhaldsins voru ýmis útgjöld dregin svo langt fram eftir árinu að þau voru ekki komin til útgjalda þegar bókhaldi ársins var lokað.

1. mynd sýnir höfuðstól Orkustofnunar í hlutfalli við tekjur árin 1981 til 1990. Ég tel að myndin sýni að stofnuninni hefur farist vel í því erfiða verkefni margra ríkisstofnana að halda útgjöldum sínum innan ramma fjárlaga. Mætti fjárveitingavaldið gjarnan meta þá árvekni hennar þegar það ákveður fjárveitingar.



1. MYND: Höfuðstóll Orkustofnunar 1981 til 1990.

3. Horft til framtíðar

3.1 Hugsanleg staða 2030

Ég ætla nú að leyfa mér að líta til nokkuð fjarlægrar framtíðar, eða nær fjóra áratugi fram í tímann, til ársins 2030. Það sem ég hér segi ber ekki að líta á sem spá heldur sem sviðsmynd af stöðunni á þessum tíma, eina af mörgum hugsanlegum. Ég ætla að gera ráð fyrir að stefna stjórnvalda um að vinna að nýtingu orkulindanna beri árangur og að fram til 2030 aukist þessi nýting nokkuð jafnt og þétt, bæði til almennra nota, raforkufreks iðnaðar í landinu og útflutnings á raforku. Ég ætla að fjalla hér einvörðungu um raforku; læt nýtingu jarðhitans sem varmaorku liggja milli hluta. Hinsvegar reikna ég með að jarðhitinn verði þegar hér er komið sögu nýttur í stórum stíl til raforkuvinnslu.

Ég geri ráð fyrir að raforkuþörf til almennra nota vaxi heldur hægar á árunum 2015 til 2030 en á árunum 2000 til 2015. Út frá þeim forsendum og að öðru leyti spá Orkuspár- nefndar til 2015 má ætla að almenningsþörfin verði eins og sýnt er hér að neðan. Ég geri enn fremur ráð fyrir að raforkufrekur iðnaður hafi verið byggður upp í svipuðum mæli á fjórum landssvæðum og að hann noti samtals 23,1 TWh/ári af raforku. Þessi svæði eru :

Reykjanesskaginn
Vesturland sunnanvert
Mið-Norðurland
Mið-Austurland

Ég vek athygli á því að þessi forsenda er í samræmi við þá stefnu stjórnvalda að raforkufrekur iðnaður skuli byggður upp víðsvegar um landið. Hún, ásamt ráðgerðum útflutningi á raforku, hefur afgerandi áhrif á þá mynd af raforkukerfinu íslenska árið 2030 sem ég kem að rétt strax.

Um hverskonar raforkufrekan iðnað yrði hér að ræða ? Við þeirri spurningu eru auðvitað ótalmörg svör; möguleikarnir eru svo margir. Eitt svarið gæti verið :

TAFLA 1: Hugsanleg skipting raforkufreks iðnaðar eftir afurðum 2030.

Framleiðsla á 700 000 tonnum af áli á ári	10,4	TWh/ári
Framleiðsla á vetni til annara eldsneytisþarfa Íslendinga en á bíla og flugvélar	9,2	-
Framleiðsla á öðrum raforkufrekum afurðum	3,5	-
Samtals	23,1	TWh/ári

Þess má geta að sá hluti af eldsneytisþörfinni sem séð er fyrir með vetni í þessu dæmi er rúmlega 56 % af heildarþörf landsmanna fyrir eldsneyti eins og vænta má að hún verði 2030. Þegar álverið á Keilisnesi hefur verið reist nema afköst íslenska áliðnaðarins 290 000 tonnum á ári. Afköst hans hefðu þá 2,4-faldast árið 2030 frá því.

Loks ætla ég að gera ráð fyrir að útflutningur á raforku sé kominn í 15 TWh/ári þegar hér er komið, sem samsvarar nokkurnveginn 2000 MW flutningsafköstum. Miðað við núverandi tækni mætti ná þessum flutningi með fjórum sæstrengjum fyrir 400 kV spennu.

Út frá þessum forsendum yrði raforkunotkun hér á landi sem hér segir árið 2030 :

TAFLA 2: Hugsanleg skipting raforkuvinnslu 2030 eftir notkunarflokkum.

	Orkunotkun TWh á ári	Hlutfall %
Almenn notkun	4,8	11,2
Raforkufrekar iðnaður	23,1	53,9
Útflutningur á raforku	15,0	34,9
Samtals	42,9	100,0

Til samanburðar er að raforkunotkun okkar 1990 var 4,4 TWh.

Þessi raforka verður unnin bæði úr vatnsorku og jarðhita. Ég hef gert ráð fyrir að öll helstu virkjunarsvæði vatnsorku hafi þegar hér er komið verið tekin til nýtingar, og helstu háhitasvæði landsins einnig. Skipting raforkuvinnslunnar á vatnsorku og jarðhita gæti verið sem hér segir :

TAFLA 3: Hugsanleg skipting raforkuvinnslu 2030 á vatnsorku og jarðhita.

	Orkuvinnsla TWh á ári	Hlutfall %
Vatnsorka	31,8	74,0
Jarðhiti	11,1	26,0
Samtals	42,9	100,0

Uppsett afl í raforkukerfinu yrði samtals 5810 MW, þar af í vatnsafli 3980 og í jarðhita 1830 MW.

Hér má aftur nefna til samanburðar að hlutdeild jarðhitans í raforkuvinnslu landsmanna er nú 5 % . Sú hlutdeild hefði þannig fimmfaldast 2030.

Til þess að flytja alla þessa raforku um landið yrði að sjálfsögðu að efla stórlega flutningskerfið. 2. mynd sýnir hvernig það gæti litið út 2030. Til viðbótar núverandi 132 og 220 kV línur hafa komið fleiri 220 kV línur og einnig nýtt spennustig, 400 kV. Myndinni er einungis ætlað að gefa hugmynd um megindrættina; að baki hennar liggur ekki nein eiginleg hönnun. Ég hef reiknað út hvernig aflstreymið um slíkt flutningskerfi gæti verið. Niðurstöðurnar eru sýndar á 2. mynd. Tölurnar tákna MW. Eins og sjá má er aflstreymið mest í austurhluta flutningskerfisins, næst Berufirði, en þaðan er gert ráð fyrir að 2000 MW leggi upp til útlanda.

Ekki er ráðrúm til þess hér að ræða í einstökum atriðum hvaða virkjanir kæmu til með að sjá fyrir þessum tæplega 43 TWh á ári. Á 2. mynd er, auk aflstreymisins og flutningskerfisins, gefið til kynna hvar þessi orka kemur inn á flutningskerfið. Í stuttu máli sagt er hér gert ráð fyrir að allir helstu virkjunarstaðir vatnsorku sem við þekkjum í dag hafi verið virkjaðir þegar hér er komið sögu. Efri og neðri hluti Þjórsár, efri hluti Hvítár, Jökulsárnar í Skagafirði, Skjálfandafljót við Íshólsvatn og Fljótshnjúk, Jökulsá á Fjöllum og Jökulsá á Brú (virkjuð hvor í sínu lagi), vötn af Hraunum norðaustan Vatnajökuls, Síðuvötn þ.e. Skaftá, Hverfisfljót og nálæg vötn, og Markarfljót. Auk þess ýmsar smærri virkjanir í Borgarfirði, á Vestfjörðum, Norðurlandi vestra og sunnanverðu Austurlandi. Jarðgufuorkuver er gert ráð fyrir að hafi verið reist í Krísuvík-Trölladyngju, Henglinum, við Torfajökul, í Öxarfirði og á Þeistareykjum, auk Kröflu og Nesjavalla. Hér eru ekki taldar þær vatnsaflsstöðvar sem nú er um það bil verið að byrja á.

3.2 Tekjur af raforkusölu

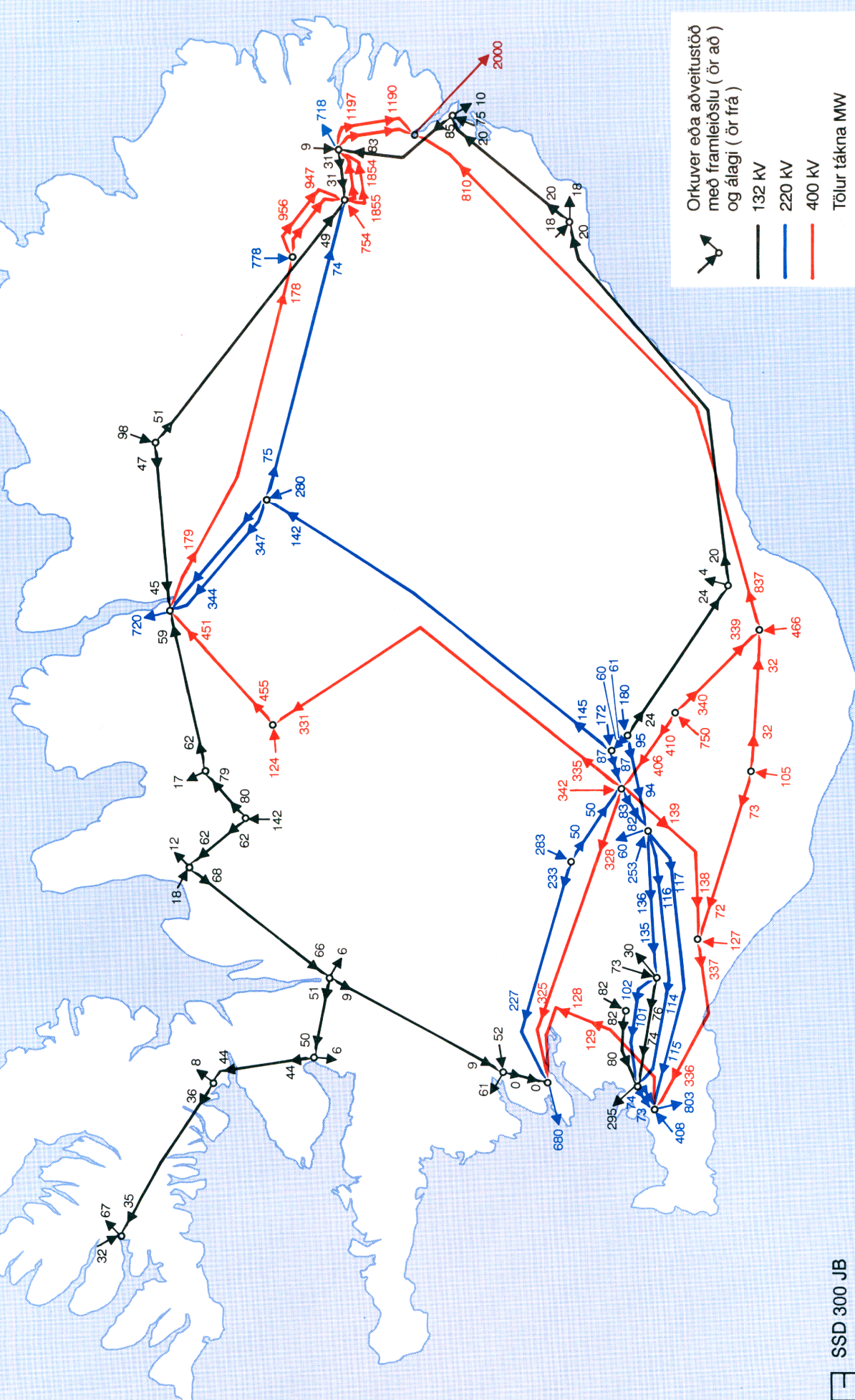
Ætla má að sölutekjur af raforku í heildsölu og til stórnotenda yrðu nálægt 45 milljarðar króna á ári á núverandi verðlagi. Í því sambandi er vert að minna á að vatnsaflsvirkjanir eru venjulega afskrifaðar á 40 árum en endast með hæfilegu viðhaldi upp undir 100 ár eða lengur. Þegar kemur fram á síðari hluta 21. aldar og stöðvarnar sem reistar voru á fyrri hluta hennar hafa verið afskrifaðar, gætu hreinar tekjur þjóðarbúsins af þessari nýtingu vatnsorkunnar verið um eða yfir 30 milljarðar króna á ári. Afskrifuð vatnsaflsvirkjun er gullnáma sem á sér fáar hliðstæður. Jarðgufustöðvar er venja að afskrifa á 30 árum, en ekki er komin reynsla á hve lengi þær endast umfram þann tíma. Þó má ætla að þær geti enst í nokkurn tíma umfram 30 ár. Bætist þá við áður nefnda tölu samsvarandi ávinningur af jarðhitnum þannig að nettó-ávinningurinn á síðari hluta 21. aldar gæti vel numið milli 30 og 40 milljörðum króna á ári á núverandi verðlagi. Það er að vísu langt að bíða eftir þessum ávinningi. En hugsam okkur að forfeður okkar og formæður snemma á þessari öld hefðu skilið okkur eftir þvílíka tekjulind !

Í efnum er varða nýtingu orkulinda okkar verðum við að temja okkur að "hugsa ekki í árum en öldum, að alheimta ei daglaun að kvöldum" eins og Stephan G. komst að orði. Og ekki sakar að minnast þess í þessu sambandi að öll þessi orkuvinnsla eykur ekki gróðurhúsaáhrifin á jörð okkar hið allra minnsta !

3.3 Lokaorð

Það er nærtækt að ræða á þessum vettvangi þær undirbúningsrannsóknir sem fram þurfa að fara áður en öll sú orka verður virkjuð, bæði vatnsorka og jarðhiti, sem ég hef hér talað um. Þess er ekki kostur að fara mikið út í þá sálma, en það gefur auga leið að þar er um mikið verk að ræða sem vinna þarf mörgum árum á undan sjálfum framkvæmdunum, eins og kunnugt er. Fjörutíu ár eru ekki svo langur tími, eða finnst okkur svo mjög langt síðan 1950 ? Það er því fyllilega tímabært að fara í fullri alvöru að undirbúa þær framkvæmdir sem til þarf. Þessi undirbúningur er mikið verk. Ætla verður því góðan tíma en draga það ekki fram á síðustu stundu. Í samræmi við það er Orkustofnun nú með í smíðum áætlun um sérstakt átak í vatnsorkurannsóknnum næstu fimm árin eins og ég gat um áðan, og Haukur Tómasson mun ræða um hér á eftir. Haft hefur verið samráð við Landsvirkjun um þennan undirbúning. Verkefnið er hugsað sem upphafið að markvissum undirbúningi undir stórfellda nýtingu vatnsorkunnar í stíl við það sem ég hef hér gert að umtalsefni. Stofnunin hefur einnig í undirbúningi hliðstæða áætlun um rannsóknir á helstu háhitasvæðunum til undirbúnings undir nýtingu þeirra til vinnslu á raforku í stórum stíl. Hún er skemmra á veg komin og er því ekki fjallað um hana nú á þessum ársfundi, en kannske á þeim næsta. Stofnunin mun ræða báðar þessar áætlanir við Iðnaðarráðuneytið og Landsvirkjun áður en langt um líður og leyfir sér að vænta jákvæðra viðbragða hjá báðum.

Hugsanleg staða raforkuferfisins á Íslandi árið 2030





HELSTU ÁHRIF VIRKJUNAR JARÐHITA Á UMHVERFIÐ

Erindi á ársfundum Orkustofnunar 1991
Halldór Ármannsson, efnafræðingur
Sverrir Þórhallsson, efnaverkfræðingur,
Einar T. Elíasson, yfirverkefnisstjóri

1. Inngangsorð

Maðurinn býr í sambýli við umhverfi sitt. Farsælt sambýli byggist á því að sambúendur njóti af því nokkurs góðs. Á þessari öld hefur orðið gífurleg fólksfjöldun í heiminum samfara tæknipróun, sem ekki á sinn líka og í kjölfarið hafa fylgt kröfur um aukin lífsþægindi. Þetta hefur m.a. orðið til þess, að nú á dögum finnast þess víða merki að maðurinn hafi sofnað á verðinum og fari oft ekki eftir meginreglum góðs sambýlis hvað varðar umhverfi sitt. Mengun láðs og lagar, rányrkja skóglendis, fiski- og landdýrastofna eru þegar orðnar í þeim mæli, að víða verður ekki úr bætt. Áhrif þessa vekja miklar áhyggjur meðal almennings, sérfræðinga um umhverfismál og stjórnvalda. Þrýstihópar af mörgum toga, oftast með ungt fólk í fararbroddi, hafa víða risið til varnar umhverfinu.

Í því sem hér fer á eftir verður tæpt á helstu atriðum, er valda samtíðinni áhyggjum í sambandi við þá mengun og röskun umhverfisins sem er samfara almennri framleiðslu hita- og raforku. Ber þar hæst áhrif tengd brennslu kolefnissambanda (viðar, olíu, kola og jarðgass), geislavirkni frá kjarnorkuverum, eyðingu skóga og ózonlags.

Ríflega tveir þriðju orkunotkunar íslensku þjóðarinnar eru fengnir frá svonefndum umhverfisvænum orkugjöfum, þ.e. jarðhita og vatnsorku, og u.þ.b. sinn helmingurinn frá hvorum um sig. Hér verða þó einungis tíunduð þau atriði umhverfisáhrifa, er tengjast virkjun jarðhita. Eins verður reynt að greina frá því hvernig jarðhitaíðnaðurinn hyggst bregðast við og hefur þegar brugðist við þessum vanda. Til frekari skýringar verða dæmi gefin frá öðrum löndum eftir því sem tilefni þykir til.

Almennt gildir, að því hærra sem hitastig er, því meiri verður umhverfisvandinn. Efni óæskileg náttúrunni leysast betur í heitu vatni en köldu og leiðir m.a. af því, að gufu fylgir alla jafna því meira gas því hærra hitastig sem ríkir í jarðhitageyminum. Mikill hávaði fylgir og blæstri háhitahola og sá varmi, sem þar er úr læðingi leystur er valdur að aukinni varmamengun.

Skilgreiningar á háhita og lághita eru ýmsar til, en yfirleitt eru lægri mörk miðuð við möguleika til raforkuvinnslu. Þau mörk hafa lækkað vegna nýrrar tækni og miðar nú Umhverfisstofnun Sameinuðu þjóðanna (El-Hinnawi 1981) við 150°C eins og fram kemur í Töflu 1.

TAFLA 1 Skilgreining Umhverfisstofnunar Sameinuðu þjóðanna (UNEP) á hitamörkum við vinnslu jarðhita

Háhiti	$t \geq 150^{\circ}\text{C}$
Millihiti	$90^{\circ}\text{C} \leq t < 150^{\circ}\text{C}$
Lághiti	$t \leq 90^{\circ}\text{C}$

Sértæk vandamál geta þó komið upp á tilteknum svæðum, þó að hiti sé ekki hár. Sum efni eru ekki hitaháð (t.d. bór og klór) og einnig er eðli vinnslu ýmissa lághitasvæða slíkt, að massataka úr þeim er mikil.

Nokkrar erlendar yfirlitgreinar hafa birst um umhverfisáhrif jarðhita (Sjá Ellis 1975, Crittenden 1981, Weres 1988). Arnórsson (1975) og Jón Steinar Guðmundsson (1980) hafa fjallað um þau með tilliti til nýtingar á Íslandi. Mikið vatn hefur runnið til sjávar síðan og er þessari grein ætlað að skýra frá núverandi ástandi með sérstöku tilliti til innlendra nýtingar.

2. Loftmengun

Jarðhitagas er yfirleitt í höfuðdráttum samsett úr koldíoxíði, brennisteinsvetni, vetni, metani, köfnunarefni og argoni og eru tvö þau fyrstnefndu til staðar í mestum mæli. Í einstökum tilvikum getur styrkur snefilefna á borð við kvikasilfur, bór, ammoníak og radon verið nægur í slíku gasi til að valda áhyggjum. Af algengustu tegundunum valda koldíoxíð og metan ekki beinu heilsutjóni en eru varasöm vegna þáttar síns í svonefndum gróðurhúsaáhrifum. Köfnunarefni og argon eru talin skaðlaus enda til staðar í umtalsverðu magni í andrúmslofti. Þá er eftir brennisteinsvetni, sem er það jarðhitagas, sem langmesta umfjöllun hefur fengið í tengslum við umhverfismál.

Nokkuð er misjafnt hve mikið koldíoxíð berst út í andrúmsloftið frá jarðhitaverum, en samanburður við orkuver, sem brenna kolefnissamböndum er hagstæður eins og sýnt er í Töflu 2. Eingöngu virkjanir, sem nýta jarðhitasvæði er innihalda óvenjulega mikið magn af gasi ($\geq 8\%$ af koldíoxíði) gefa frá sér koldíoxíð í svipuðum mæli og kolakýnt orkuver. Orkuver á borð við Mt Amiata, þar sem gas í gufu er $\geq 20\%$ heyra til algerra undantekninga. Þá er og rétt að minna á, að brennsluverin senda út í loftið ýmis önnur mengandi efni eins og brennisteinsdíoxíð (sem leggur grunn að súru regni) og sót, sem reyndar er stærsta uppspretta fyrir skaðlega þungmálma í andrúmslofti.

TAFLA 2 Koldíoxíð- og brennisteinsútblástur frá nokkrum jarðhitavirkjunum borinn saman við útblástur frá kolakýntum orkuverum. Byggt á Axtman (1975) og óbirtum íslenskum gögnum.

Orkuver	Koldíoxíð (CO ₂) tonn(MWdag) ⁻¹	Brennisteinn (S) tonn(MWdag) ⁻¹
Kolaver 1 (3.5% S)	25.0	0.27
Kolaver 2 (1.0% S)	25.0	0.077
Wairakei, Nýja Sjáland	2.0	0.012
Geysissvæði, USA ¹⁾	1.4	0.054
Krafla, Ísland	2.3	0.14
Námafjall, Ísland ²⁾	2.3	0.47
Svartsengi, Ísland ²⁾	13.4	0.031
Larderello, Ítalíu	11.0	0.13
Broadlands, Nýja Sjáland	18.0	0.15
Mt Amiata, Ítalíu	62.0	0.19

¹⁾ Brennisteinsvetni hreinsað úr gufunni.

²⁾ Mótþrýstihverfill (notar u.þ.b. tvöfalt gufumagn á MW miðað við hverfla með eimsvala).

Brennisteinn frá brennsluverum er á formi brennisteinsdíoxíðs (SO₂), sem m.a. hefur þau áhrif að sýra jarðveg (í daglegu tali að koma af stað "súru regni") og hefur það afgerandi áhrif til röskunar á lífríki. Brennisteinn er hins vegar á formi brennisteinsvetnis (H₂S) í útblæstri frá jarðhitasvæðum og er talinn helsti skaðvaldur í honum. Áhrif þess á fólk eru sýnd í Töflu 3.

TAFLA 3 Áhrif brennisteinsvetnis á fólk

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Styrkleiki ppm(v)	Eitrunaráhrif
1-45	.0007/.033	Neðri þefmörk. Engin marktæk áhrif á heilsufar.
150	.11	Lykt rétt merkjanleg.
500	.35	Lykt greinilega merkjanleg.
15000	11	Neðri mörk gasstyrks, er angrar augun.
20000/60000	14/42	Hæstu leyfð mörk við 8 stunda vinnu. (ACGIN þolmörk) (EPA 1969)
150000	110	Lyktarónæmi innan 2-15 mínútna. Augna- og lungnasviði innan 1 st. Dauði innan 8 til 48 stunda.
900000	660	Veldur dauða innan 30 mínútna.
1500000	1100	Samstundis tap á meðvitund og dauði innan örskamms tíma.

Oftast er styrkur þess í lofti það lítill, að ekki er ástæða til að óttast alvarlegar afleiðingar, en þó nægur til að valda óþægilegri lykt, og er hún höfuðástæðan fyrir aðgerðum til að koma í veg fyrir útblástur gastegundarinnar. Mismikið er gert úr áhrifum þess á mismunandi stöðum og skiptir þá yfirleitt höfuðmáli náttúruleg útgufun, áður en til virkjunar kemur. Einnig getur loftslag haft áhrif, því að fnykurinn er mun greinilegri í röku en þurru lofti. Þannig má gera samanburð á viðbrögðum á mismunandi svæðum eins og sýnt er í Töflu 4.

TAFLA 4 Viðbrögð við brennisteinsvetni frá jarðhitavirkjunum. Tölur frá Crittenden (1981) og úr óbirtum íslenskum gögnum.

Svæði	Loftslag	Náttúruleg útgufun	Utgufun eftir virkjun	Viðbrögð
Geysissvæðið, Kaliforníu	Fremur rakt	Mjög lítil	5-6000 tonn/ár af um 6000 km ²	Miklar hreinsiaðgerðir
Cerro Prieto, Mexíkó	Þurrt	Allnokkur	9000 tonn/ár af um 80 km ²	Lítill
Námafjall,	Rakt	Mikil	2200 tonn/ár af um 5 km ²	Engin

Einnig ber að geta þátta eins og ræktunar og útivistar. Í nágrenni Geysissvæðisins er t.d. vínrækt og þar eru líka vinsæl útivistarsvæði.

Bent hefur verið á, að brennisteinsvetni í útblæstri frá jarðhitaverum geti oxast í brennisteinsdíoxíð fyrir tilverknað súrefnis úr andrúmslofti, og skapað þannig skilyrði til sýringar jarðvegs ("súrs regns"). Athugun á styrk brennisteinsdíoxíðs í lofti yfir Nesjavöllum, þar sem brennisteinsvetnisútblástur, er mjög mikill, leiddi í ljós, að styrkur brennisteinsdíoxíðs var hvergi yfir grunnildi ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Edner o. fl. 1991). Niðurstöður þessar benda til þess, að brennisteinsvetni oxist í brennistein í lofti, en hann er ekki eins skaðlegur fyrir jarðveg og brennisteinsdíoxíð. Ennfremur má geta þess að Muna & Ojiambo (1985) könnuðu möguleg áhrif útblásturs í 30 km radíus frá Olkaria jarðhitaverinu á regnvatn og fundu engin marktæk áhrif á sýrustig og sulfatstyrk. Nýleg athugun í Svartsengi bendir og til þess að útblástur frá orkuverinu hafi ekki valdið lækun á sýrustigi regnvatns (Jón Örn Bjarnason 1991).

Í Töflu 5 er yfirlit um streymi koldíoxíðs og brennisteinsvetnis út í andrúmsloftið frá íslenskum jarðhitasvæðum. Tölur um náttúrulegt útstreymi eru grundvalladar á mati á þéttleika gufuaugna og afstæðu streymi þeirra, sem gert var á Kröflusvæði árið 1979 (Halldór Ármannsson & Trausti Hauksson 1980). Reyndist þetta koma vel heim og saman við líkanreikninga á vatnsbúskap svæðisins, sem byggðir voru á mælingum í borholum (Böðvarsson o.fl. 1984). Upplýsingar um þéttleika gufuaugna og gasstyrk í gufu þeirra, eru til frá flestum jarðhitasvæðum landsins, en misgóðar þó. Hafa þess konar upplýsingar verið notaðar hér, en jafnframt gert ráð fyrir svipuðu meðalstreymi frá þeim og metið var fyrir jarðhitasvæðið í Kröflu. Veruleg óvissa er því í uppgefnu magni á náttúrulegu útstreymi, en það breytir ekki þeirri niðurstöðu, að aukning gasstreymis til andrúmslofts samfara virkjun er umtalsverð.

TAFLA 5 Árlegt streymi koldíoxíðs og brennisteinsvetnis til andrúmslofts frá íslenskum jarðhitasvæðum.

Gas	Virkið svæði		Óvirkið svæði	Náttúrulegt streymi	Heildarstreymi
	Náttúrulegt streymi tonn/ár	Streymi frá virkjunum tonn/ár	Náttúrulegt streymi tonn/ár	Samtals tonn/ár	
CO ₂	33.000	52.000	61.000	94.000	146.000
H ₂ S	1.470	8.400	4.030	5.500	13.900

Á Geysissvæðinu í Kaliforníu hefur alls staðar verið komið fyrir hreinsibúnaði til eyðingar brennisteinsvetnis, en ekki hefur þótt ástæða til þess annars staðar í heiminum. Fram á síðustu ár hefur verið beitt aðferðum, sem hafa í för með sér fellinguna brennisteins og þá helst með svonefndu Stretford-ferli, en úr því fæst brennisteinninn nægilega hreinn sem markaðshæf vara. Vinnslurás fyrir ferlið er sýnd á 1. mynd. Á allra síðustu árum hefur verið tekið upp brennsluferli, þar sem brennisteinsvetni er brennt í súrefni og myndað brennisteinsdíoxíð, sem hvarfast við vatn og myndar brennisteinssýrting (H₂SO₃). Við það sparast miklir flutningar á föstum myndefnum. Vinnslurás fyrir þetta ferli er sýnd á 2. mynd.

Á 3. mynd er sýnd þekkt og áætluð vinnsla jarðhita á Geysissvæðinu, Kaliforníu, en þekktur og metinn útblástur brennisteinsvetnis frá jarðgufuvirkjunum á svæðinu og má þar glögg sjá áhrif brennisteinsvetnislosunar og þess að bæta losunaraðferðir (Leibowitz 1977).

Kvikasilfur er mjög eitrað og í afoxandi umhverfi getur það borist með gufu út í andrúmsloftið, í umtalsverðu magni. Jón Ólafsson (1978) reiknaði t.d., að við nýtingu 10 öflugra neðrakerfishola í Kröflu mætti búast við, að um 8.8 kg af af kvikasilfri mundu rjúka út í loftið á ári, en til samanburðar gat hann þess, að við aðra iðju manna bærust um 10 milljón kg af kvikasilfri á ári til andrúmsloftsins. Nokkuð er mismunandi hve mikið berst frá mismunandi jarðhitasvæðum og því full ástæða til að afla upplýsinga um kvikasilfur frá öllum svæðum, sem til greina kemur að virkja. Niðurstöður nokkurra mælinga á kvikasilfri í andrúmslofti á Íslandi eru sýndar í Töflu 6. Kvikasilfursstyrkur í andrúmslofti í Reykjavík og Svartsengi er innan þeirra grunnildismarka fyrir ómengað andrúmsloft. Nokkru hærri styrkur mældist í andrúmslofti í Heimaey, meðan á eldgosinu stóð og enn hærri í gasútstreymi frá gosstöðvunum eins og búast mátti við. Í engu þessara tilvika fer styrkur þó fram úr alþjóðlegum öryggismörkum.

TAFLA 6 Styrkur kvikasilfurs í andrúmslofti á nokkrum stöðum á Íslandi, borinn saman við alþjóðleg þolmörk.

Staður	Hg $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Heimild
Reykjavík	0.007	Ólafsson (1975)
Svartsengi	0.005	Edner o. fl. (1991)
Heimaey 1973, á götu	0.44	Ólafsson (1975)
Heimaey 1973, kjallari	3 - 4	Ólafsson (1975)
Heimaey 1973, gos- stöðvar, gasútstreymi	8 - 19	Ólafsson (1975)
Þolmörk [†]	50	Sax & Lewis (1989)
Grunngildi	0.001 - 0.03	Ellis (1975)

[†] Átt er við þann styrk kvikasilfurs, sem óhætt er að vinna við í 8 tíma á dag.

Arsen er baneitrað einkum í ákveðnum efnasamböndum, en það fylgir að mestu vatnsfasa við uppgufun. Við mælingar í Námafjalli, Kröflu og Nesjavöllum (Jón Ólafsson 1978, Árni Gunnarsson & Einar Gunnlaugsson 1986) kom í ljós, að lítið eitt fylgir þéttanlegri gufu, en ekkert fannst í óþéttanlegu gasi. Það virðist að einhverju leyti fylgja brennisteinsvetni, t.d. mældist það snöggtum meira í Námafjalli, þar sem styrkur brennisteinsvetnis er tiltölulega mikill en í Kröflu, þar sem hann er minni (Jón Ólafsson 1978). Á þurrugufusvæðum hefur oft fundist arsen í gufu og er því allur varinn góður í sambandi við hugsanlegt streymi þess til andrúmslofts frá jarðgufuvirkjunum.

Bór er mjög skaðlegt fyrir gróður, en eins og arsen berst það mestmegnis með vatnsfasa, þó að það geti fylgt gufu að einhverju marki og hafi fundist í henni á þurrugufusvæðum.

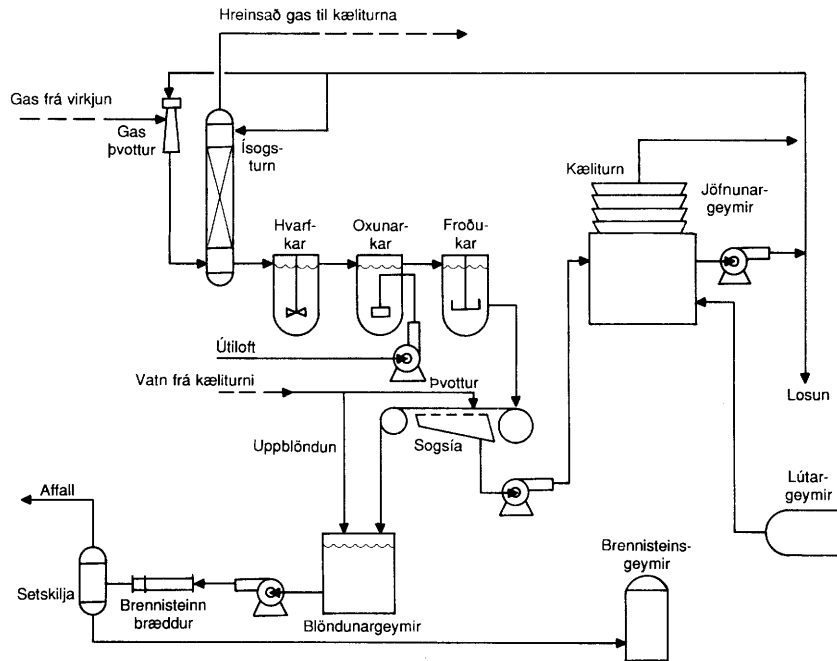
Ammoníak skiptist nokkuð jafnt milli gufu og vatnsfasa, en þær fáu mælingar á því, sem gerðar hafa verið hérlendis gefa ekki tilefni til áhyggja.

Radon er geislavirk gastegund, sem stundum finnst í þó nokkru magni í jarðhitagufu eða vatni. Það eyðist tiltölulega fljótt (helmingunartími: 3.8 dagar). Menn greinir mjög á um skaðsemi slíkrar geislavirkni og hefur m.a. verið bent á, að óvída er hún meiri en í hinum frægu heilsulindum Evrópu og hefur því verið haldið fram, að lækningamáttur þeirra geti legið í geislunum. Fylgst hefur verið með radoni frá nokkrum íslenskum jarðhitasvæðum vegna annars konar rannsókna og ekki þótt ástæða til kvíða. Styrkur kvikasilfurs, arsens og radons í gufu frá nokkrum háhitasvæðum er rakinn í Töflu 7. Þar kemur fram, að þessi efni hafa ekki komið fram í umtalsverðu magni í hérlendri gufu í samanburði við gufu frá vel þekktum erlendum jarðhitasvæðum.

Auk gass og þéttanlegrar gufu berst oft vatnsúði út í loftið einkum frá öflugum borholum, þar sem skiljur ráða ekki við streymið. Slíkur úði getur dreifst vítt og breitt og valdið spjöllum, t.d. setjast útfellingar á gróður auk þess sem skaðleg efni eins og bór og flúor berast með.

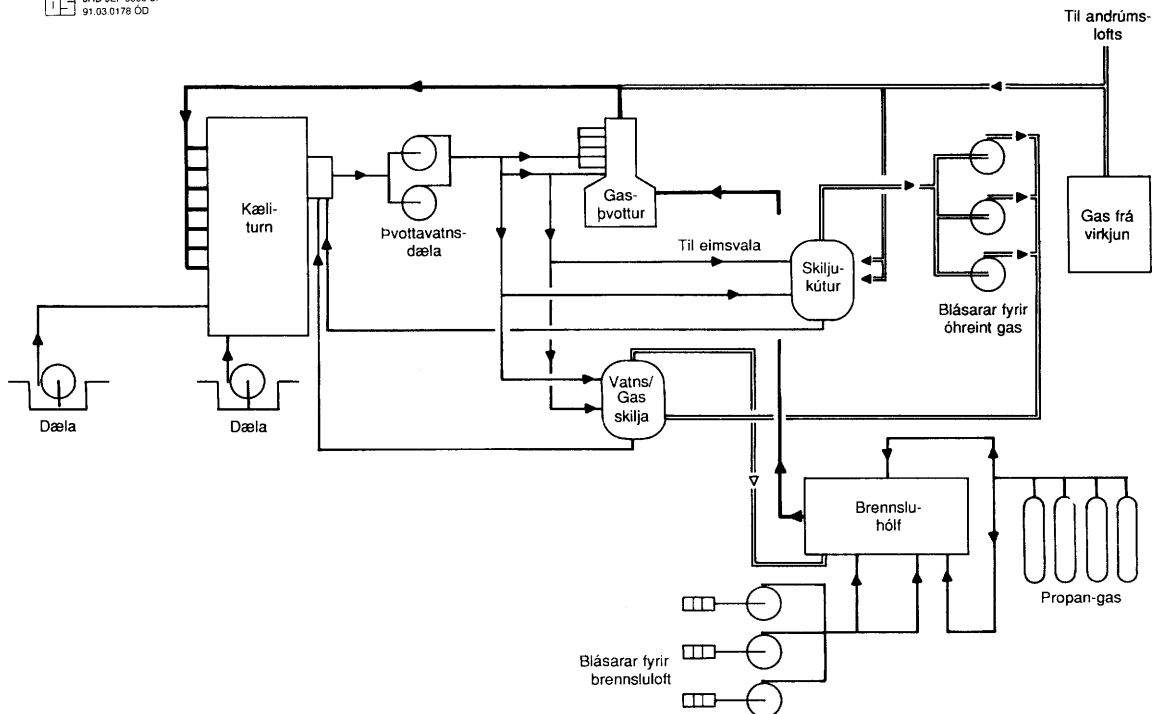
Að auki er rétt að minna á, að óprýði er oft af miklum gufustrókum, sem geta stuðlað að þokumyndun. Þá hefur gufa tærandi áhrif á mannvirki auk útfellinganna, sem minnst hefur verið á.

JHD JEF 9000 SP
91.03.0179 ÖD

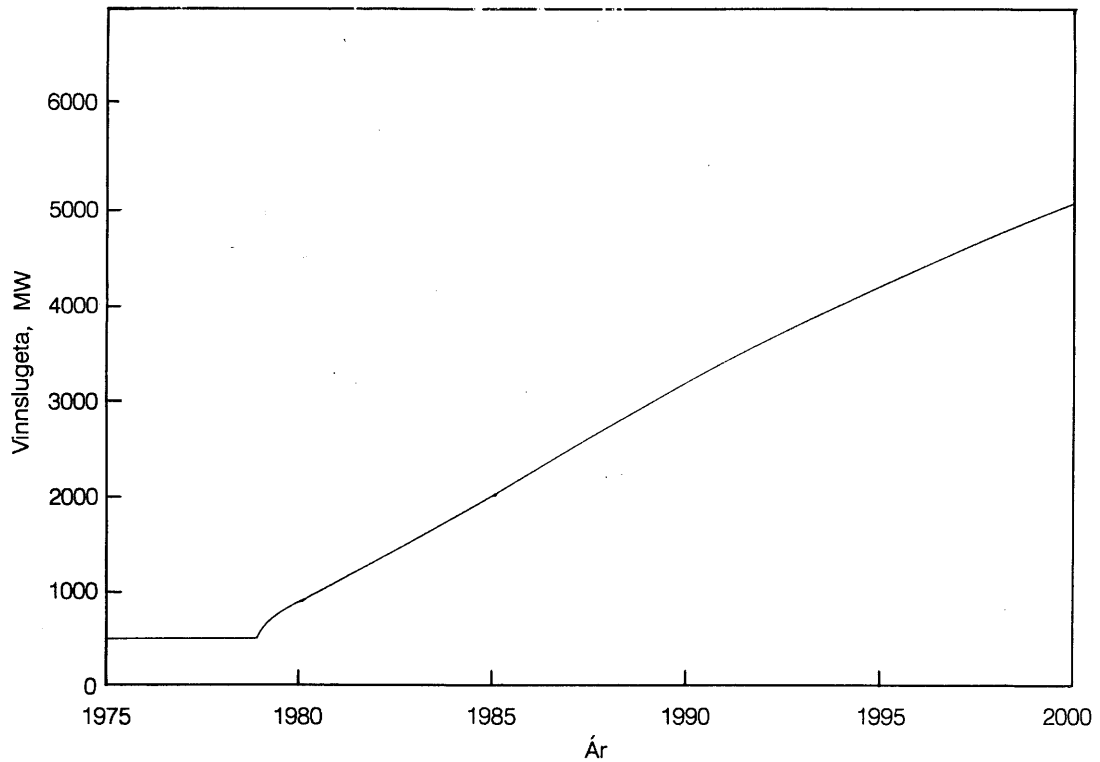


1. mynd. Vinnslurás fyrir Stretford ferli til eyðingar brennisteinsvetnis.

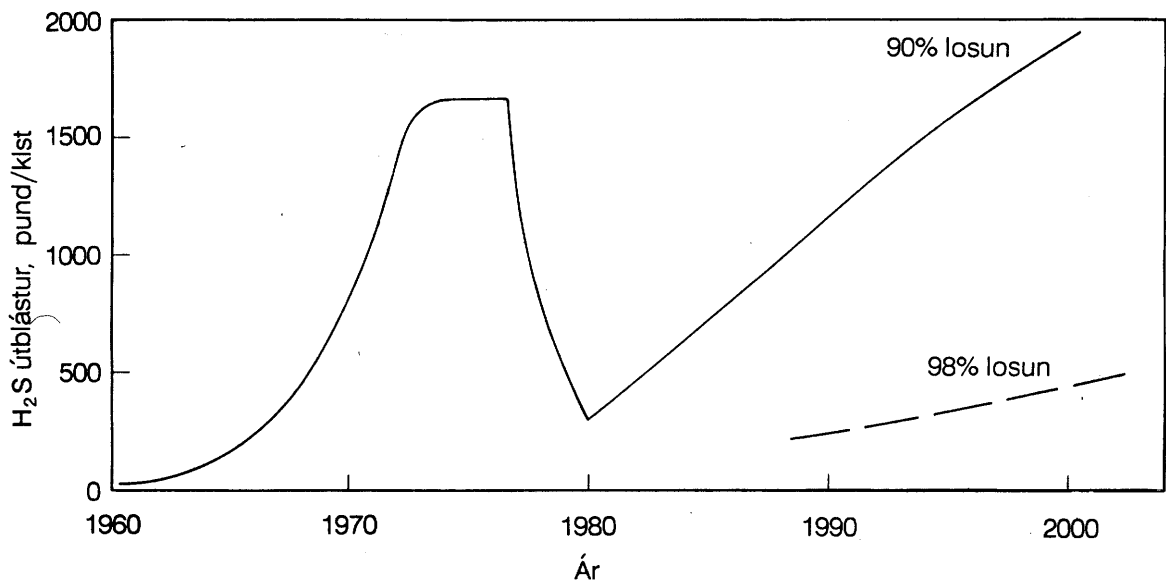
JHD JEF 9000 SP
91.03.0178 ÖD



2. mynd. Vinnslurás fyrir brennsluferli til eyðingar brennisteinsvetnis (Rogers 1990).



3. mynd Þekkt og áætluð vinnslugeta Geysissvæðisins, Kaliforníu



4. mynd Þekktur og áætlaður brennisteinsvetnisútblástur frá jarðhitavirkjunum Geysissvæðisins, Kaliforníu. Stækkun vinnslusvæðis er áætluð frá 50 km² 1976 í yfir 2000 km² 1996 (Leibowitz 1977).

TAFLA 7 Kvikasilfur, arsen og radon í gufu frá borholum á nokkrum jarðhitasvæðum (Ellis 1975, Jón Ólafsson 1978, Árni Gunnarsson & Einar Gunnlaugsson 1986, Edner o. fl. 1991, Orkustofnun, óbirt gögn)

Svæði	Hg $\mu\text{g}/\text{kg}$	As $\mu\text{g}/\text{kg}$	Rn nCi/kg
Geysissvæðið, Bandaríkjunum	5	19	20
Wairakei, Nýja Sjálandi	1 - 4		10 - 100
Krafla	0.1 - 9	7 - 9	1 - 50
Námafjall	0.4	5 - 15	0.8 - 5
Nesjavellir	0.3 - 1.7	0 - 9	
Svartsengi	0.4		0.5 - 6

3. Vatnsmengun

Pau efni í jarðhitavatni, sem helst hafa verið könnuð með tilliti til mengunaráhrifa eru: brennisteinsvetni, arsen, bór, flúor, kvikasilfur og aðrir snefilmálmur (t.d blý og kadmíum).

Leyfð mörk til ýmissa nota byggð á mismunandi stöðlum eru sýnd í Töflu 8 ásamt þekktum styrkmörkum í öllu og íslensku jarðhitavatni.

Styrkur kvikasilfurs og arsens í affallsvatni frá nokkrum íslenskum jarðhitasvæðum er borinn saman við styrk þessara efna á tveimur erlendum jarðhitasvæðum í Töflu 9. Selta vatns frá öðru þeirra, Wairakei, er ekki mikil (Cl: 2200 ppm), en á Salton Sea svæðinu er um að ræða þækil (Cl: 184000 ppm) og fylgir slíku að öðru jöfnu gjarnan aukinn styrkur annarra efna. Athygli vekur, að arsenstyrkur virðist lítil í affalli frá íslenskum jarðhitasvæðum. Kvikasilfurstyrkur er hins vegar sambærilegur við það, sem þekkt er annars staðar

Fjórar höfuðleiðir eru til losunar affallsvatns frá jarðhitasvæðum

1. Bein losun, oftast í ár eða vötn, en stundum í grunnvatn (t.d. í Kröflu).
2. Bein losun eftir meðferð (t.d fellingu skaðvalda).
3. Söfnun í tjarnir, stundum fylgt eftir með framleiðslu drykkjarvatns og/eða salts.
4. Niðurdæling.

Bein losun er auðvitað ódýrasta lausnin, en henni fylgja ókostir, þ.e. hættu á efna- og varmamengun. Oft eru mengandi efni undir skaðsemismörkum í vökvanum, sem losaður er og verða langt undir þeim eftir þynningu. Hins ber að gæta, að lítil styrkur segir kannski ekki alla söguna, ef aukning verður á annað borð, því að henni getur fylgt uppsöfnun. T.d. hefur mælt kvikasilfur í meiri en leyfilegum styrk í silungi úr Waikato ánni, sem tekur við affalli frá Wairakei orkuverinu á Nýja Sjálandi. Umtalsverð aukning á arseni hefur fundist í plöntum og seti seti frá sömu á (Ellis 1978). Margar lífverur eru mjög næmar fyrir hitastigsbreytingum og fækki í einni tegund getur það haft víðtæk áhrif á lífkerfið allt. Hækkun vatnshita þarf þó ekki alls staðar að vera til bölvunar, er hún nýtt hér á landi og víða annars staðar í heiminum til fiskeldis.

Við hreinsun á köldu vatni, t.d. á skólpi til endurvinnslu, er oft beitt ýmiss konar meðferð til að losna við helsta óþverrann. Til eru hagkvæmar aðferðir til að hreinsa öll helstu skaðvænleg efni úr jarðhitavatni, nema bór. Við hönnun virkjana, hefur þessi möguleiki oft verið kannaður, en hvergi þótt nógu aðlaðandi til þess að hann væri nýttur.

Söfnun í tjarnir hefur víða verið beitt og er Bláa lónið í Svartsengi nærtækasta dæmið. Kostir við hana eru minnkuð varmamengun, möguleg vinnsla drykkjarvatns og e.t.v. salts á þurrum svæðum, en það hefur verið prófað á East Mesa svæðinu í Kaliforníu (Fernelius 1975). Ókostir tengjast hins vegar stíflun af völdum kísilfellinga fylgt eftir af vexti tjarnanna, eins og við þekkjum frá Bláa lóninu.

Niurdæling er af flestum talin hagkvæmasta lausnin á losun affallssvatns frá jarðhitasvæðum. Með henni er komið í veg fyrir stóran hluta allrar vatnsmengunar auk þess sem líftími svæðanna er lengdur. Við ýmis tæknileg vandamál er þó að glíma, einkum stíflun niurdælingarhola af völdum útfellinga (kísils og e.t.v.

kalks) auk þess sem hætta getur verið á óhóflegri kólnun jarðhitageymisins. Víða hefur tekist að leysa slík vandamál á farsælan hátt, t.d. með því að dæla við nógu hátt hitastig og þrýsting, með því að sýra vökvann (stundum getur verið nóg að bæta í hann þéttri gufu), eða að efni hafa verið felld út í lónum, áður en dælt hefur verið niður. Aðstæður eru í þessu efni sem öðrum mismunandi á hverjum stað og getur verið býsna varasamt að flytja reynslu hráa milli svæða. Gera þarf streymislíkan og ákveða með hliðsjón af því fjarlægð niurdælingarhola frá vinnslusvæði og eftir borun þurfa að fara fram prófanir á áhrifum niurdælingar, m.a. ferlun til að fá fram streymishraða, og athuganir á gerð og fellingarhraða mögulegra útfellinga, þannig að unnt sé að grípa til viðeigandi ráðstafana.

Tafla 8 Leyfður hámarksstyrkur nokkurra efna í vatni til neyslu, fiskeldis og áveitna, borin saman við þekkt styrkmörk þeirra í íslensku jarðhitavatni.

Not	pH	Upp- leyst efni	Na mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	F mg/l	B mg/l	H ₂ S mg/l	As mg/l	Hg mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Cu mg/l	Pb mg/l	Zn mg/l	Cd mg/l
Neysla	6.5 - 8.5	1000	200	250	400	1.5	30	0.05	0.05	10 ⁻³	0.3	0.1	1	0.05	5.0	5*10 ⁻³
Neysla	6.5 - 8.5	500	250	250	250	2.0	500	0.3	0.05	2*10 ⁻³	0.3	0.05	1	0.05	5.0	0.01
Fisk- eldi (fersk- vatn)		7000	250	200	200	1.0	500	0.3	1.0							
A- veitur		200- 1000	1 - 200			10	0.75	1.0	1.0							
Jarð- hita- vatn (Ísland)	2 - 11	80 - 7*10 ⁴	7 - 1.7*10 ³	5 - 3*10 ⁵	3 - 1000	0.04 - 25	0.05 - 12	<0.1 - 350	6*10 ⁻³ - 0.3	10 ⁻⁶ - 3*10 ⁻⁴	<0.01 - 70	<10 ⁻⁴ - 5	<10 ⁻⁴ - 10 ⁻²	<10 ⁻⁵ - 5*10 ⁻³	<10 ⁻³ - 0.15	<10 ⁻⁶ - 10 ⁻³

1 WHO (1984), nema B og H₂S WHO (1972). Í staðlinum frá WHO (1984) eru engin mörk gefin fyrir bór og eingöngu sagt, að H₂S skuli vera neðan bragðmarka.

2 US Federal standards.

3 McKee & Wolf (1971).

4 Gagnasafn Orkustofnunar, Ólafsson & Riley (1978)

TAFLA 9 Kvikasilfur og arsen í affallsvatni frá nokkrum jarðhitasvæðum (Ellis 1975, Jón Ólafsson 1978, Árni Gunnarsson & Einar Gunnlaugsson 1986, Gagnasafn Orkustofnunar)

Svæði	Hg $\mu\text{g}/\text{kg}$	As $\mu\text{g}/\text{kg}$
Wairakei, Nýja Sjálandi	0.12	4700
Salton Sea, Bandaríkjunum	0.11	12000
Krafla	0.01 - 0.5	6 - 113
Námafjall	0.01 - 2	97 - 160
Nesjavellir	0.002 - 0.05	5 - 310
Svartsengi	0.08	

4. Hávaði

Hávaði kemur við sögu á öllum stigum jarðhitavirkjunar. Viðmiðunarmörk fyrir starfsmenn, fengin frá Vinnueftirliti ríkisins eru rakin í Töflu 10. Gert er ráð fyrir, að menn vinni í 10 m fjarlægð frá upptökum.

TAFLA 10 Polmörk hávaða

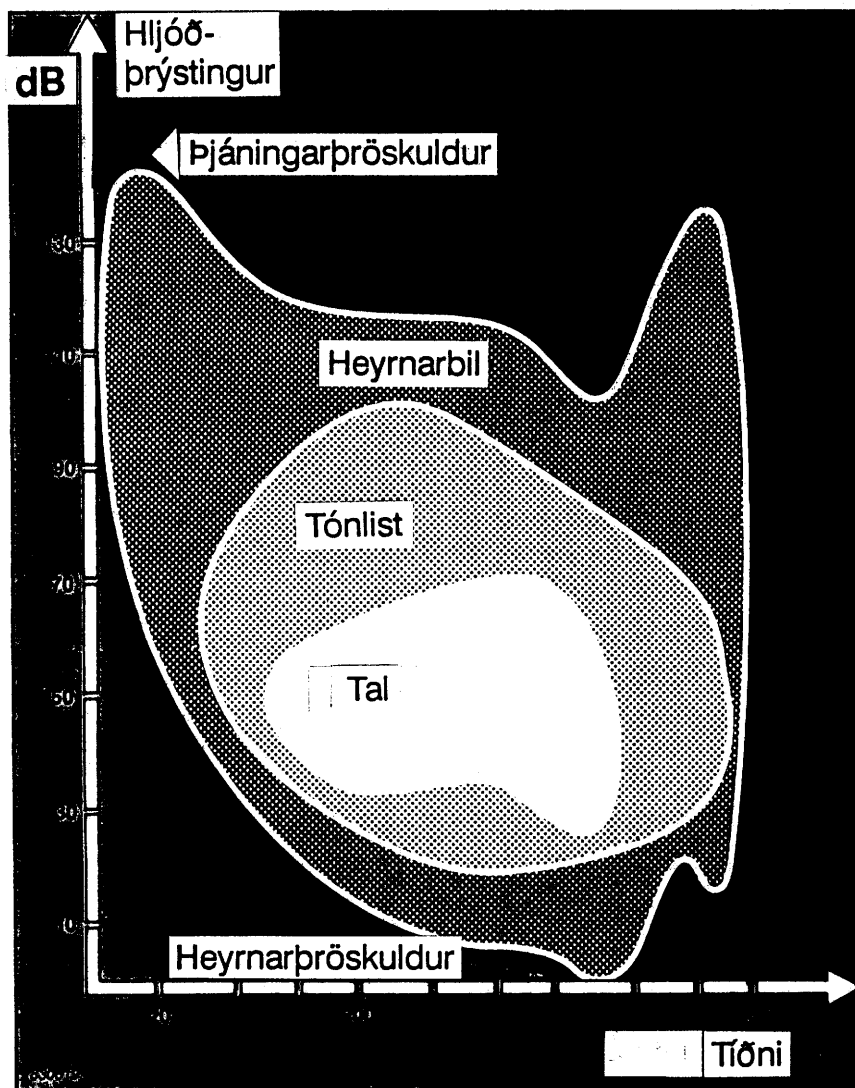
Hávaðamörk dB	Tímalengd klst	Þekkt hljóðumhverfi
25	∞	Hljóðstofa
40	∞	Íbúðahverfi að nóttu
65	∞	Venjulegt tal
75	∞	Götuhorn í stórborg
85	8	Fullkomlega hljóðdeyfð gufuborhola
88	4	Borun
91	2	Stór vörubíll í akstri
97	0.5	Hávært bifhjól
100	0	Óhljóðdeyfður dísiltrúkkur, Gufuborhola, hljóðdeyfð með lúðri.
105	0	Loftpressa
120	0	Þjáningarþröskuldur við 2000 - 4000 Hz
125	0	Flugtak þotu, óhljóðdeyfð gufuborhola
140	0	Þjáningarþröskuldur (öll tíðni)

Hávaði er náttúrulega mjög háður vegalengd og mest af þeim hávaða, sem verður við jarðhitavirkjanir á upptök á litlu svæði. Þumalfingursregla segir, að hávaði minnki um 6 dB við tvöföldun fjarlægðar frá upptökum.

Við borun fer hávaði sjaldnast fram úr 90 dB og ætti því að vera þolanlegur í 2 - 4 klst. Þó er mælt með heyrnarhlífum við slík skilyrði.

Þegar gufuborhola er komin í blástur er hávaði frá henni yfir 120 dB í um 10 m fjarlægð, ef engin hljóðdeyfing kemur til. Einfaldasta gerð hljóðdeyfis, lúður, lækkar hann í um 100 dB, en

fullkominn sívalningshljóðdeyfir í um 85 dB. Því ætti að vera unnt að vinna án vandræða í nágrenni slíkrar holu, þó að enn sé mælt með heyrnarhlífum. Þessi tegund hljóðdeyfa virkar eingöngu, ef um er að ræða blautar holur. Þurrufuholur geta verið enn hávaðasamari og magna



5. mynd Samband hljóðþrýstings og tíðni (Brüel & Kjær 1984)

þær upp hávaða við framangreind skilyrði. Aðrar leiðir, t.d grjótburður í sívalninginn hafa borið nokkurn árangur, en heyrnarhlífur eru nánast skilyrði fyrir þá, sem dvelja þurfa í nágrenni slíkra hola.

Hávaði, sem fylgir annarri mannvirkjagerð er svipaður og við aðrar slíkar framkvæmdir og verður ekki fjallað sérstaklega um hann hér.

Þessi umfjöllun er um vegið meðaltal hávaða af öllum tíðnibilum, en athuganir hafa sýnt, að lágtíðnihljóð vegna mun þyngra en háttíðnihljóð í hávaða frá blásandi borholum. Slíkur hávaði

getur haft svæfandi áhrif og er það enn frekari ástæða til notkunar heyrnarhlífa. Áhrifum hávaða við mismunandi tíðni eru gerð skil á 5. mynd.

Hér á landi hafa verið gerðar hávaðamælingar í Hveragerði, og minni háttar athuganir á Nesjavöllum, í Námafjalli og í Kröflu. Niðurstöður einnar slíkrar mælingar við Hveragerði eru sýndar í Töflu 11 og eru þær í grófum dráttum í samræmi við það, sem fram kemur hér að ofan.

TAFLA 11. Hávaði, mældur við holu G-6, Ölfusdal.

Fjarlægð m	31.5 Hz	1000 Hz	32000 Hz	LiN óvegið	dB (A) vegið
10	111 db	74 db	32 db	114 db	85 db
50	96 db	59 db	26 db	99 db	76 db

5. Varmamengun

Mikill varmi losnar við virkjun jarðhita til raforkuframleiðslu vegna lélegrar nýtingar varmans (10 - 15%). Losna má við stóran hluta hins ónýtta varma með niðurdælingu, en hagkvæmasta leiðin til dreifingar þess varma, er út í umhverfið fer, er þurrugufun. Oftast er þéttivatn frá virkjuninni sjálfri nýtt í kæliturnum. Vatnsþörf til slíkrar gufunar er 50 - 100 m³ á ári fyrir hvert framleitt kílóvatt. Ýmsar leiðir hafa verið reyndar til að besta slík ferli, en engin ein leið hefur reynst verulega árangursrík.

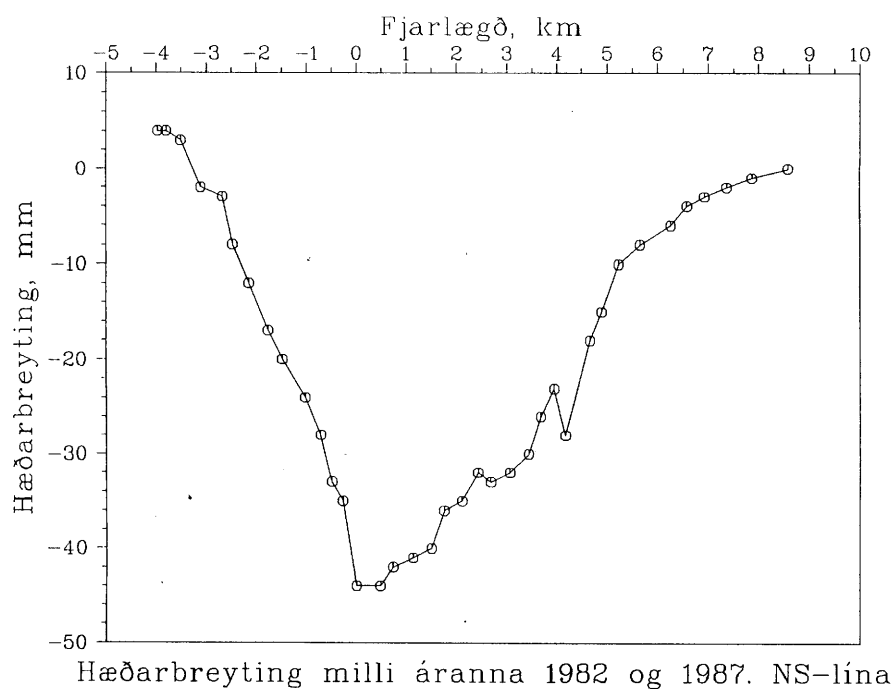
Mengun vegna upphitunar umhverfisins tengist því frárennslisvatni og gufustrókum frá orkuveri og flutningslögnum. Alvarlegust hefur varmamengun reynst, þar sem frárennslisvatni er veitt beint í ár og vötn. Lífverur eru mjög næmar fyrir hitastigsbreytingum og þrífast sumar hverjar eingöngu á þröngu hitastigsbili. Þá getur gerlagróður aukist verulega við hækkun hita. Stundum þarf ekki að hreyfa við nema einni tegund til að valda tjóni á heilum vistkerfum. Meðal annars af þessum sökum er beinni losun óvísða beitt og veiting í tjarnir og/eða niðurdæling yfirleitt taldar æskilegri lausnir.

6. Áhrif vatnsnáms við orkuvinnslu

Fjárhagsleg hagkvæmni veldur því í langflestum tilvikum að orkunám úr jarðhitasvæðum í vinnslu er talsvert umfangsmeira en náttúrulegt jafnvægi svæðisins leyfir. Umtalsvert vatnsnám er því ávallt samfara vinnslu jarðhita, hvort sem um er að ræða há- eða lághita. Þetta vatnsnám er háð nýtingarmáta og orkumagni, og getur haft í för með sér einhver eftirtalinna áhrifa á næsta umhverfi:

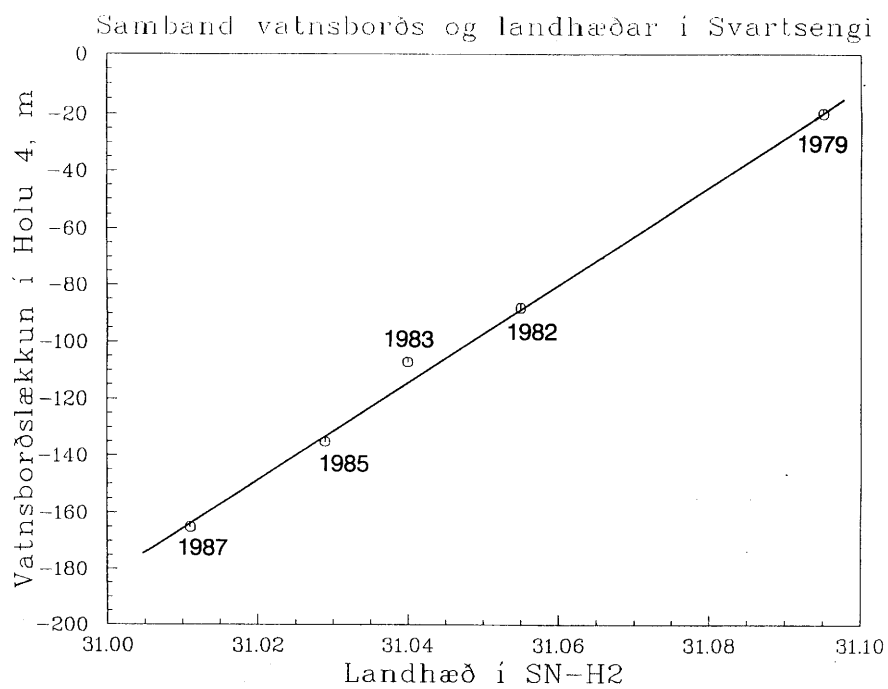
6.1 Staðbundið landsig

Nám mikils magns af vökva úr jarðlögum getur valdið landsigi eins og aldalöng reynsla af vinnslu á olíu og ferskvatni úr jarðlögum hefur sýnt. Varanlegt landsig er oftast samfara samfelldri töku vatns úr jarðhitasvæðum í langan tíma umfram það sem samsvorar náttúrulegri endurnýjun á vatnsforða svæðisins. Stafar þetta mest af samþjöppun jarðlaga, sérstaklega leirlaga, setlaga eða annarra jarðlaga með lágt burðarþol, sem er að finna ofan við eða neðan vatnstökustaðarins.



6. mynd

Svartsengi. Hæðarbreyting milli áráanna 1982 - 1987.



7. mynd

Vatnsborðslækkun í Holu 4 Svartsengi og landhæð í punkti SN-H2 (Hjálmar Eysteinnsson o. fl. 1991)

Lýsandi dæmi um slíkt landsig á virkjuðum háhitasvæðum er að finna á Wairakei-svæðinu á Nýja Sjálandi og í Svartsengi á Íslandi. Landsigið á Wairakei nemur allt að 7.6 metrum (að meðaltali u.þ.b. 400 mm/ári) og sýna umfangsríkar mælingar þar mjög nákvæma fylgni milli sigsins og heildarrúmmáls þess vökva, sem tekinn hefur verið úr svæðinu (Thain & Stacey 1984). Í Svartsengi er sigið mun minna eða 13 sm (þ.e. 11 mm/ári) (Hjálmar Eysteinnsson o. fl. 1991). Á 6. mynd er sýnd hæðarbreyting í Svartsengi frá 1982 til 1987 og sýnir hún glögg hve staðbundin breytingin er og á 7. mynd kemur fram samband milli vatnsborðslækkunar og landhæðarbreytingar. Í Larderello á Ítalíu mældist sig allt að 1.7 m frá 1923 - 1986, eða um 250 mm/ári og svipaður sighraði mældist á Travale svæðinu (Lumsden 1991).

Lághitasvæði á Íslandi hafa ekki sýnt veruleg merki slíks landsigs, þótt þeirra hafi eitthvað orðið vart annars staðar, t.d. í Frakklandi (Parísar sigdældin).

6.2 Lækkun grunnvatnsstöðu

Vatnakerfi jarðhitasvæða eru í flestum tilvikum í einhverjum tengslum við nálæg grunnvatnskerfi. Reynslan sýnir, að það er mjög breytilegt hve nán þessi tengsl eru í hverju einstöku tilviki og oft erfitt að meta þau nema að undangengnum mjög ýtarlegum rannsóknum.

Eins og áður er nefnt, hefur nýting jarðhita oft í för með sér meira vatnsnám úr jarðhitasvæði en nemur náttúrulegu aðstreymi til þess. Afleiðing þessa er tæming vökva úr jarðhitageyminum, en hún hefur í för með sér þrýstingslækkun (niðurdrátt) í jarðhitakerfinu. Slíkur niðurdráttur getur hæglega leitt til truflunar á nálægum grunnvatnskerfum. Það fer mjög eftir því hve nán tengsl eru milli kerfa og hverjir eiginleikar jarðhitans eru hversu alvarlegar afleiðingar slíkra truflana reynast.

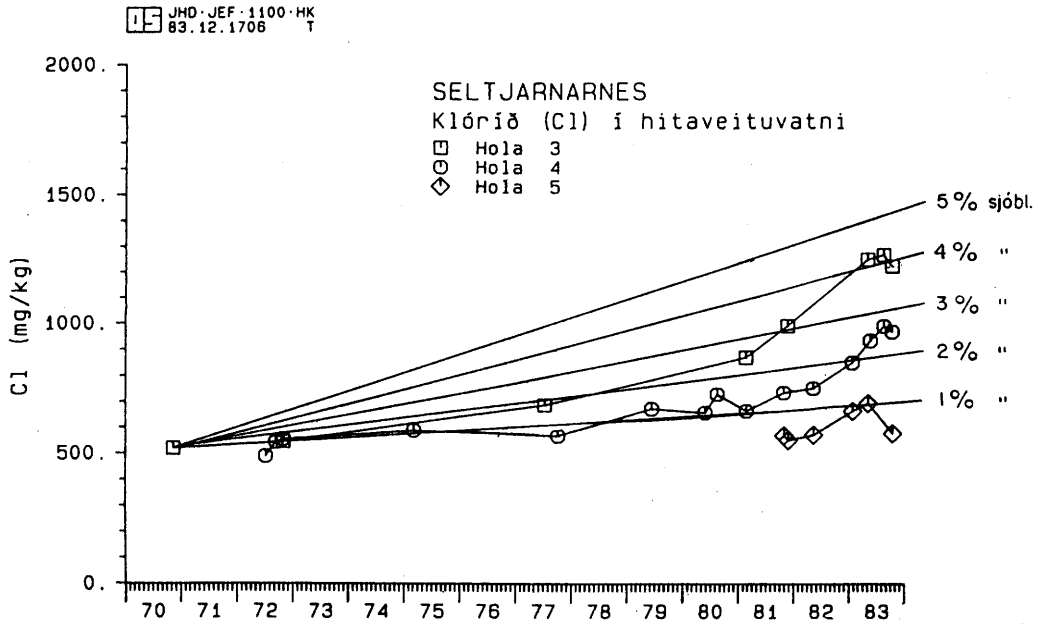
Nán tengsl milli jarðhita- og grunnvatnskerfa leiða því yfirleitt til lækkunar grunnvatnsborðs þar sem jarðhiti er nýttur. Fari saman nýting jarðhita og grunnvatns við slíkar aðstæður getur það leitt til hagsmunaárekstra og vandamála af ýmsu tagi.

Flest dæmi um vandamál varðandi nýtingu á jarðhita við framangreindar aðstæður tengjast blöndun jarðhitavökvans við grunnvatn, sem nær að streyma inn í jarðhitageyminn vegna áhrifa niðurdráttar. Helstu áhrif á lághitavatn eru kæling og súrefnisaukning og í nálægð sjávar er hættu á innstreymi klóríðs. Súrefni og klóríð auka hættu á málmtæringu hitalagna. Á háhitasvæðum geta auk þess skapast aðstæður, sem stuðla að útfellingu kalsíts.

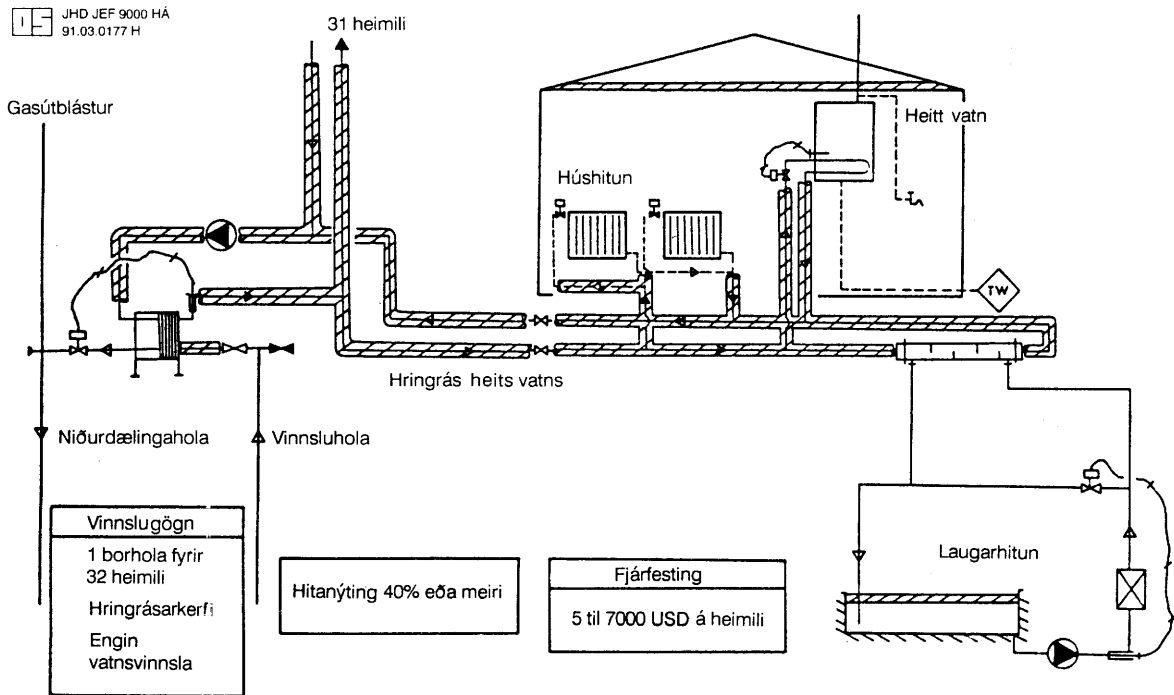
Nærtæk dæmi um slík vandamál á íslenskum lághitasvæðum er klóríðaukning í vatni á Laugarnes- og Elliðaársvæðunum í Reykjavík, Seltjarnarnessvæðinu og Þorleifskotssvæðinu við Selfoss (Hitaveita Reykjavíkur, Orkustofnun 1988, Jens Tómasson 1988, Hrefna Kristmannsdóttir 1983, Tómasson & Halldórsson 1981)). Einnig hefur orðið vart við súrefnisaukningu í vatni frá Elliðaársvæðinu. Kalsítútfellingar vegna blöndunar við vatn úr grunnum kerfum hafa og valdið búsifjum á háhitasvæðunum við Hveragerði og Svartsengi og sums staðar á Kröflusvæðinu (Hjörleifur Jakobsson & Sverrir Þórhallsson 1983, Trausti Hauksson 1980, Ármannsson 1989). Á 8. mynd er sýnd aukning klóríðstyrks vegna innrásar sjávar í jarðhitavatn á Seltjarnarnesi.

6.3 Breytingar á jarðhita á yfirborði

Tæming vökva úr jarðhitakerfi og afleidd þrýstingslækkun veldur því nær undantekningalaust minnkun eða hvarfi jarðhita af yfirborði. Í mörgum tilfellum getur verið um varanleg áhrif að ræða. Þetta getur valdið alvarlegri röskun á umhverfinu og



8. mynd *Breytingar á klóríðstyrk hitaveituvatns á Seltjarnarnesi 1970 - 1983 (Hrefna Kristmannsdóttir 1983).*



9. mynd *Samnýting með niðurdælingu til orkusparnaðar. Tillaga frá Rotorua, Nýja Sjálandi (Drev, 1985)*

lífríki þess. Einnig geta jafnt einstaklingar sem bæjar- og sveitarfélög orðið fyrir talsverðu fjárhagslegu tjóni af völdum slíkra breytinga. Þekkt er að laugar, gos- og leirhverir hafa horfið eða minnkað á mikilvægum ferðamannastöðum og valdið umtalsverðu tjóni. Landeigendur hafa einnig tapað jarðhita, sem var uppi á landi þeirra, vegna virkjunar jarðhita á annarra landi.

Mörg dæmi eru til um slíka röskun. Þekktust eru líklega hvarf þvottalauganna í Reykjavík, þegar Laugarnessvæðið var virkjað fyrir Hitaveitu Reykjavíkur, málaferlin vegna hvarfs heitra lauga í Eyjafirði og vandamál þau, sem komið hafa upp í ferðamannabænum Rotorua á Nýja Sjálandi (Drew 1985). Aðdráttarafli þess bæjar er einkum fólgið í mikilfenglegum goshverum. Þar er líka mjög auðvirkjanlegur jarðhiti og fram til 1985 höfðu verið boraðar þar yfir 900 holur og var engin stjórn á nýtingu svæðisins. Þá var farið að draga verulega úr yfirborðsvirkni og útlit fyrir að goshverirnir hyrfu væri ekkert að gert. Þá var sett á laggirnar nefnd, sem gerði róttækar tillögur um samnýtingu, þar sem einn opinber aðili hefði umsjón með nýtingu og greiddu notendur fyrir það.

Meðal annars var gert ráð fyrir niðurdælingu. Á 9. mynd eru sýnd aðalatriðin í tillögum þeirra.

Það er þekkt fyrirbrigði í tengslum við virkjun háhita að langtíma niðurdráttur í jarðhitakerfinu veldur myndun gufu- og gaspúða yfir vinnsluhluta svæðisins. Slíkt fyrirbrigði er til dæmis þekkt á Wairakei svæðinu og nágrenni þess (Henley & Stewart 1983), sem hefur verið í vinnslu síðast liðin 30 ár. Svo mikil brögð eru að þessu að virkjunin er farin að nýta þessa púða til framleiðslu raforku. Vart hefur orðið við slíka gufupúðamyndun á Ahuachapan-svæðinu í El Salvador, á Filippseyjum (Unocal, persónulegar upplýsingar) og víðar. Aðeins er farið að bera á þessu í Svartsengi og í Kröflu.

Nokkur hættu er á að þessir gufupúðar geti brotist upp til yfirborðs og valdið gufugosum og/eða aurskriðum, þegar jarðlög eru lítt ummynduð og mikið sprungin og getur gufan brotið sér leið upp um þær. Nýjasta dæmið um slíkt er frá El Salvador 1990 (Smithsonian Institute Global Volcanism Network Bulletin 1990), en þar varð tjón bæði á mannvirkjum og fólki.

6.4 Aukin jarðskjálftavirkni

Jarðhita er yfirleitt helst að finna á þeim stöðum heimsins þar sem virkni jarðskjálfta er mest, bæði hvað varðar örskjálfta og orkuríkari jarðskjálfta.

Taka þarf tillit til náttúrulegrar skjálftavirkni með því að byggja sérlega traust mannvirki á og með því að kortleggja vel sprungur og misgengi og koma í veg fyrir, að byggt sé á þeim.

Árið 1966 var uppgötvað í Denver í Colorado, að niðurdæling affallsvökva kom af stað jarðskjálftum (Evans 1966). Í kjölfarið hafa verið gerðar heilmiklar rannsóknir á áhrifum vökvatöku og niðurdælingar á jarðhitasvæði í vinnslu, en ekki hafa fengist afgerandi niðurstöður. Þó má túlka niðurstöður rannsókna á Geysissvæðinu, Kaliforníu þannig, að jarðskjálfta megi rekja til vinnslu, einkum niðurdælingar (Eberhardt-Philips & Oppenheimer 1984). Niðurstöður tilrauna á Rangeley-olíusvæðinu í Colorado benda til þess, að niðurdæling í virk misgengi geti komið af stað jarðskjálftum (Raleigh o. fl. 1976). Því má koma í veg fyrir slíka hættu með skynsamlegu vali á niðurdælingarstað.

Öruggasta og að jafnaði hagkvæmasta leiðin til að varna eða draga úr landsigi er að skila vökvænum aftur, að nýtingu lokinni, niður í jarðhitageyminn sjálfan eða jaðra hans. Hve langt er hagkvæmt að ganga í þessu ræðst af aðstæðum hverju sinni svo sem fjarlægð svæðisins frá nýtingarstað; eðli jarðhitans; tegund nýtingar; hve mikilvægt og verðmætt svæðið er til landnýtingar; hve viðkvæmt fyrir sigi o. fl.

Virkar leiðir til að draga úr vökvæmingu jarðhitakerfa samfara nýtingu eru aðallega tvær: Í fyrsta lagi að velja nýtingarferli með hámarksnýtni varmans að leiðarljósi eins og gert hefur verið t.d. í Svartsengi og áformað er við Nesjavelli. Í öðru lagi að dæla aftur niður í jarðhitasvæðin því vökvamagni sem aflögufært er eftir að nýting hefur farið fram. Niðurdæling í þessu skyni er þekkt víða erlendis samfara nýtingu bæði há- og lághita, og hefur aðferðin verið notuð í u.þ.b. tuttugu ár. Kínverjar, Frakkar, Ungverjar og Bandaríkjamenn (Hochstein 1988, Honegger o. fl. 1989, Virkir-Orkint 1990, Benson o. fl. 1984) hafa beitt henni við losun affalls frá lághitasvæðum. Samfara nýtingu háhita hefur niðurdæling affallsvatns verið tekin upp í Japan, á Nýja Sjálandi, á Filippseyjum, í El Salvador, í Mexíkó, í Bandaríkjunum og á Grikklandi oftast með góðum árangri (Horne 1982, Horne & Puente 1989, Hibara o. fl. 1989)). Fyrstu prófanir á þessari aðferð eru um þessar mundir að hefjast á Íslandi, þ.e. hjá Hitaveitu Suðurnesja í Svartsengi og hjá Hitaveitu Akureyrar á Laugalandi.

Almennt má segja að vel skipulögð og rekin niðurdæling affallsvökva geti aukið virkan nýtingartíma jarðhitasvæða, dregið úr áhrifum vökvæmingar bæði á yfirborði og í jarðhitageyminum sjálfum og þar með aukið hagkvæmni nýtingarinnar.

7. Landspjöll af mannvirkjum

Eins og öðrum stórframkvæmdum fylgja ýmis landspjöll jarðhitavirkjunum. Efnistaka er nauðsynleg vegna bygginga, velja þarf borholum og byggingum staði og leggja þarf vegi að helstu mannvirkjum. Hafa þarf full samráð við landeigendur, sveitastjórnir og náttúruverndarráð um allar slíkar framkvæmdir og reyna að lágmarka slík spjöll.

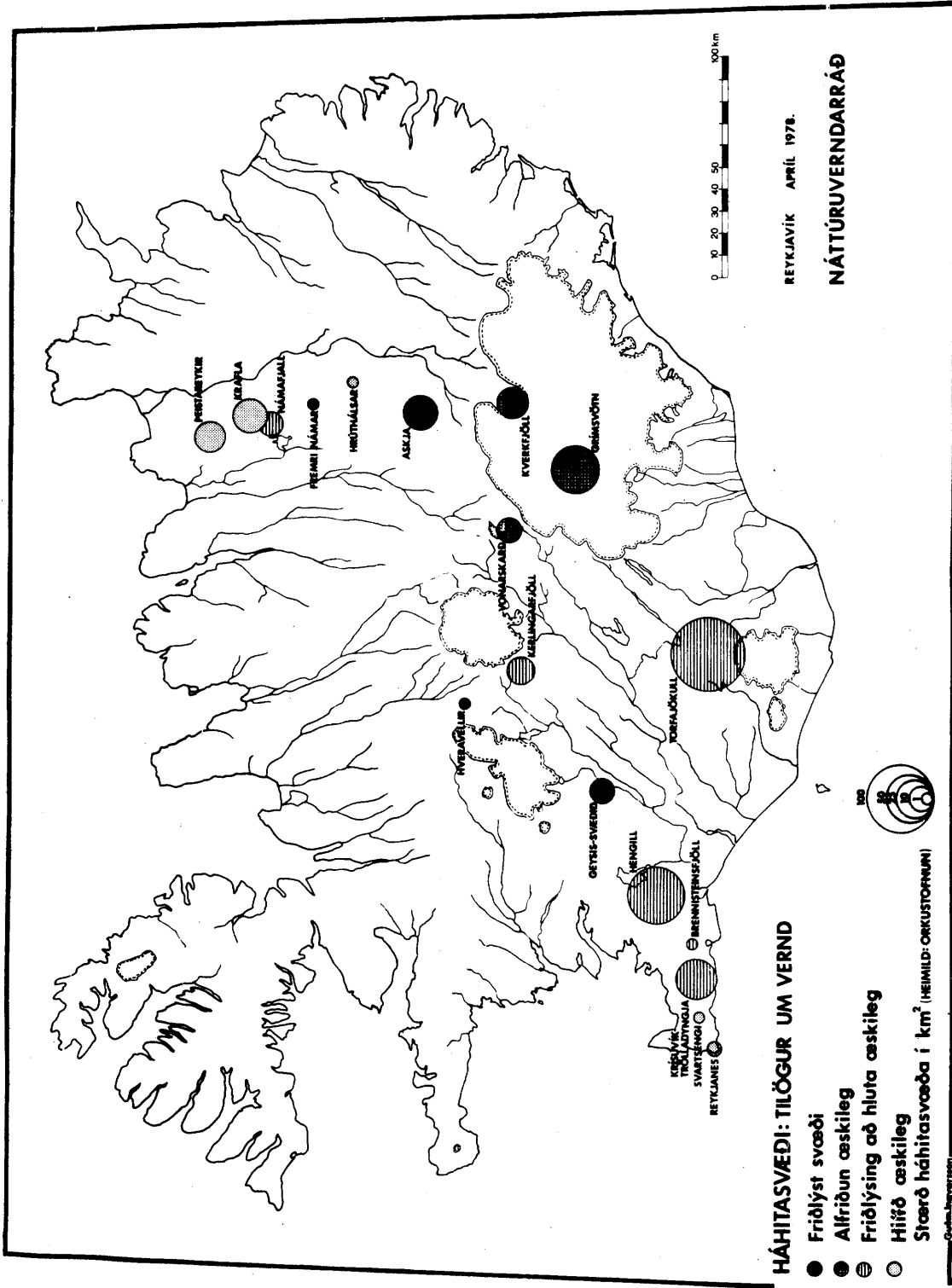
Jarðhitavirkjanir koma mjög vel út úr samanburði við önnur orkuver hvað slík landspjöll varðar, þar sem helsta athafnasvæðið er tengist orkuöfluninni (þ.e. borholurnar) nær yfir tiltölulega lítið svæði á yfirborði jarðar. Ennfremur er auðlindin unnin á staðnum og flutningar á borð við þá, sem tíðkast frá kolanámum og olíulindum ekki nauðsynlegir. Það getur þurft að mynda tjarnir á yfirborði, a.m.k. tímabundið, en með niðurdælingu er oft hægt að koma í veg fyrir það eftir að rekstur hefst.

Eðlis síns vegna eru jarðhitasvæði oft á afskekktum stöðum, þar sem náttúrufegurð ríkir. Bygging vega hefur þau áhrif að opna landið og veita þangað straumi ferðamanna. Taka þarf fullt tillit til möguleika á óbeinum spjöllum, sem slíku eru samfara.

Oft er mikil hætta á skriðuföllum á jarðhitasvæðum og hefur sums staðar þurft að taka tillit til þess við val á borstæðum, þannig að þau séu á traustum grunni og þá gjarna boraðar skáholur út frá þeim, t.d. á Geysissvæðinu, Kaliforníu (Crittenden 19871).

Eins og minnst hefur verið á hér að ofan geta gufa og úði frá borholum borið með sér óæskileg efni og þar með valdið spjöllum á jarðvegi og gróðri og getur það haft ófyrirsjáanleg áhrif á vistkerfi. Ennfremur verður gler matt og útfellingar setjast á rafmagnslínur og spennuvirki og getur þurft að grípa til sérstakra hreinsiaðgerða til að halda slíku í skefjum.

Sigurður Þórarinsson (1978) og Jón Jónsson (1980) hafa gert tillögur um friðlýsingu ákveðinna jarðhitasvæða. helstu atriði í tillögum Sigurðar um vernd háhitasvæða eru sýnd á 10. mynd.



10. mynd Tillögur um vernd háhitasvæða (Sigurður Þórarinnsson 1978)

8. Félags- og efnahagsleg áhrif

Jarðhiti, sem hagkvæmur er til virkjunar, liggur oft fjarri stórum byggðarlögum, gjarnan á fallegum gróðursælum stöðum, stundum í þjóðgörðum eða í námunda við þá. Framkvæmdir á borð við virkjanir geta valdið mikilli röskun á félagslegum aðstæðum í litlum byggðarlögum bæði til skamms og langs tíma litið. Meðan á framkvæmdum stendur skapast vel launuð atvinna, sem veldur röskun á atvinnuháttum og mönnun hefðbundinna starfa. Stór hópur aðkomumanna kemur í byggðarlagið og kallar á aukna þjónustu. Hætta er á að eðlileg uppbygging og skipulag þess raskist þannig verulega og erfitt geti reynst að koma þessum þáttum í rétt horf að framkvæmdum loknum. Breytingar á atvinnuháttum geta í vissum tilvikum orðið varanlegar bæði vegna áhrifa frá rekstri virkjunar og tæknivæðingar sem þátttaka íbúa þess í framkvæmdunum hafði í för með sér. Opnun landsins fyrir ferðamönnum í kjölfar virkjunar geta og haft varanleg áhrif á sama hátt.

Mjög brýnt er að gera könnun á hugsanlegum félagslegum og efnahagslegum áhrifum og gera tillögur um lausnir þeirra vandamála, sem fyrrsjáanleg eru. Hafa skal full samráð við heimamenn og sjá til þess að vinnuafli þeirra sé nýtt til hins ítrasta án þess þó að hefðbundinni uppbyggingu atvinnu á staðnum sé kollvarpað. Einnig skal séð til þess, að þeir séu fræddir um öll hugsanleg áhrif virkjunarinnar á umhverfið.

Dæmi um fyrirhugaða virkjun, þar sem vandræði hafa orðið vegna ónógs samráðs við heimamenn, er jarðgufuvirkjun á eyjunni Milos í Grikklandi. Grísku rafmagnsveiturnar hafa séð um undirbúning með aðstoð ýmissa erlendra fyrirtækja, þar á meðal hafa Virkir hf. og Orkustofnun gegnt ráðgjafarhlutverki. Eftir því sem við komumst næst hafði einn heimamaður verið ráðinn til starfa við undirbúningsframkvæmdir, en allir aðrir þangað fluttir. Sáralítill samráð virtust höfð við heimamenn og sáu þeir virkjunina sem ógnun við tiltölulega blómlega atvinnustarfsemi sem fyrir var og allra síst virðist hafa verið minnst á umhverfisáhrif við þá. Yfirborðsvirkni var ekki mikil fyrir boranir og borholur höfðu ekki blásið lengi á rannsóknarstigi. Þegar virkja átti holurnar voru þær látnar blása og brennisteinsfnykinn lagði yfir byggðarlagið fólki til mikillar hrellingar. Ekki var nóg með að þefurinn færi fyrir brjóstið á fólki heldur kom líka upp sá kvittur, að gasið hefði alls konar dulin eituráhrif og bar þar hæst, að kyngetu karlmanna stafaði hætta af. Magnaðist þetta mjög og ákváðu rafmagnsveiturnar að efna til fræðslufunda og skýra sín mál. Einn af ítölskum starfsbræðrum okkar átti að halda þar erindi og sagði hann, að gjörsamlega hefði verið út í hött að reyna að koma þar að skynsamlegu orði. Ósköpin enduðu með því að heimamenn sprengdu í loft upp hljóðdeyfi og rafmagnsveiturnar urðu að fresta öllum framkvæmdum um ófyrirséðan tíma.

9. Staða rannsókna á umhverfisáhrifum jarðhita

Í sambandi við einstakar, hérlendar virkjanir, hefur margt verið gert og ýmislegt vel unnið. Höfð hafa verið samráð við viðkomandi aðila um efnistöku, staðsetningar mannvirkja o.þ.h. og gerðar hafa verið úttektir á aðstæðum fyrir virkjanir og áætlanir um eftirlit með umhverfisspillandi þáttum. Hins vegar virðist mjög á reiki hver eigi að sjá um slíkt eftirlit og hver sé upplýsingaskylda þeirra, sem um það sjá.

Hér á eftir fer yfirlit um jarðhitasvæði landsins, og raktar helstu aðgerðir á sviði umhverfismála. Sérstök áhersla er lögð á virkjuð háhitasvæði.

Krafla

Snemma á virkjunarferlinum fór fram mat á grunnvatnsmengun (varma- og efnamengun) (Sjá Guttormur Sigbjarnarson o. fl. 1974, VST & Virkir 1975, Stefán Arnórsson & Einar Gunnlaugsson 1976), sérstaklega með tilliti til Mývatnssvæðis. Gerð var áætlun um byggingu kællilóns, en gufuhluti reyndist það stór, að óhætt þótti að veita affalli beint ofan í hraunið. Þá var boruð hola í Búrfellshrauni, og voru tekin úr henni sýni til efnagreininga fram til ársins 1981.

Engin skipuleg úttekt hefur verið gerð á loftmengun, en til eru grunngildi fyrir sum efni í skýrslum hér og þar. Til eru gögn um aðra umhverfisþætti, en þau eru dreifð eins og hin fyrrnefndu.

Námafjall

Grunnvatnsmengun, vegna jarðhitanytingar, hefur verið rannsökuð talsvert (Sjá Guttormur Sigbjarnarson o. fl. 1974, Þóroddur f. Þóroddsson & Guttormur Sigbjarnarson 1983, de Zeeuw & Gíslason 1988) á svæðinu og mikið er til af lítið unnum gögnum hvað þennan þátt varðar. Líklega er ekki til úttekt á annars konar umhverfisáhrifum. Umtalsvert minna er til af gögnum um Námafjallssvæðið almennt en Kröflusvæðið. Eins eru þau mjög dreifð og lítið unnið úr þeim. Eins og fram kemur hér á eftir hefur og verið gerð úttekt á ástandi borhola þar (Ásgrímur Guðmundsson o. fl. 1989).

Svartsengi-Eldvörp

Hugsanleg grunnvatnsmengun hefur verið rannsökuð mikið og unnið úr þeim gögnum (Sjá t.d. Jón Steinar Guðmundsson 1978). Sú leið hefur verið farin að safna affallsvatni í kællilón, en það hefur viljað stíflast vegna kísilútfellinga og fer því stækkandi. Af þessum sökum og vegna áhrifa massatöku á jarðhitakerfið hafa verið gerðar miklar prófanir á mögulegri losun affallssvatns með niðurdælingu. Boruð hefur verið niðurdælingarhola og dælt niður köldu, ósöltu vatni, en tæknileg vandamál vegna niðurdælingar jarðhitavökva hafa enn ekki verið leyst (Jón Steinar Guðmundsson 1983, Trausti Hauksson 1985). Loftmengun hefur verið rannsökuð að einhverju marki, sömuleiðis hávaðamengun og talsverð gögn eru til um eðlisfræðilega þætti eins og niðurstöður þyngdarmælinga, sem segja til um landsig á svæðinu (Gunnar V. Johnsen 1983). Mikið er til af prentuðum heimildum um rannsóknir á almennum þáttum varðandi svæðið, sem nýtast mundu við úttekt á stöðu umhverfismála vegna nýtingar þess.

Reykjanes

Beinar rannsóknir á grunnvatnsmengun frá jarðhitasvæðinu eru litlar, en gögn sem nýst gætu til slíks mats eru einhver til. Affallinu er sleppt niður í hraunið, en þaðan er stutt leið til sjávar. Lítið hefur verið gert af rannsóknum á öðrum umhverfisáhrifum, en gagnlegar niðurstöður leyntast í umfangsmiklum almennum gögnum um svæðið (Sjá t.d. Ólafsson & Riley 1978).

Nesjavellir

Talsvert hefur verið hugað að umhverfisáhrifum við byggingu Nesjavallavirkjunar og farið fram úttekt á þeim (Árni Gunnarsson & Einar Gunnlaugsson 1986). Mælt hefur verið magn ýmissa skaðlegra efna í borholuvatni og í vatni í grennd, hugsanleg áhrif affallsvatns á lífríki könnuð og gerð bæði með hliðsjón af veitingu affallsvatns beint í Nesjavallalæk, sem rennur í Þingvallavatn og með djúpförgun affalls í grunnvatnskerfi á um 3-400 m dýpi en kyrrstætt vatnsborð stendur þar neðar en í Þingvallavatni. Niðurstöður benda til þess, að yfirborðsförgun sé tiltölulega meinlaus. Mælt er með aðskiljanlegum rannsóknum og eftirliti, en ekki er kunnugt um framkvæmd þeirra né skýrslur um niðurstöður. Möguleikar á niðurdælingu í hið nýtt jarðhitakerfi hafa enn ekki verið kannaðir.

Hveragerði

Þar hefur um langan aldur verið nýtt háhitasvæði og allt affall hefur runnið til Varmár, sem er ein efnamengaðasta á landsins og verulega varmamenguð líka. Þokkalegt safn gagna er til um borholur (Sjá t.d. Karl Ragnars o. fl. 1980) og einnig gögn um ána (Halldór Ármannsson o. fl. 1973, Sigurjón Rist 1974). Mælingar á hávaða hafa verið gerðar við holurnar.

Óvirkjuð háhitasvæði

Til eru einhver gögn, sem nýta má í umhverfisrannsóknum um flest háhitasvæði landsins. Þrjú þeirra, þ.e. Peistareykir, Krísuvík-Trölladyngja og Torfajökull, hafa verið rannsökuð að töluverðu marki (Sjá Gestur Gíslason o. fl. 1984, Arnórsson 1987, Arnórsson o. fl. 1987).

Lághitasvæði

Vatn frá lághitasvæðum hefur verið grandskoðað með tilliti til neysluhæfni, áður en það hefur verið virkjað fyrir hitaveitur. Oftast er slíkt vatn leitt beint í hús sem kranavatn, en enn hefur ekki verið sett reglugerð um not af því. Víðast hvar er sýrustig ofan neysluvatnsmarka og allvíða er styrkur brennisteinsvetnis nægilegur til að gefa bragð. Styrkur flúors, klóríds, súlfats og uppleystra efna sums staðar umtalsvert hærri en leyfilegt er fyrir drykkjarvatn. Þá er og á nokkrum stöðum bætt í aukaefnum (t.d. súlfíti) til að hefta útfellingar eða eyða súrefni (Hrefna Kristmannsdóttir 1990). Nú mun hafa verið skipuð nefnd á vegum Heilbrigðisráðuneytisins til að setja reglugerð um not hitaveituvatns og takmarkanir á þeim.

10. Þörf rannsókna á umhverfisáhrifum jarðhita og aðgerða þeirra vegna

10.1 Söfnun og könnun gagna

Af stöðu rannsókna á umhverfisáhrifum jarðhita má ráða, að ýmislegt gagnlegt hefur verið gert, en alla heildarstefnu varðandi þær virðist vanta. Ekki er ljóst hverjir skuli sjá um eftirlit né hver sé upplýsingaskylda þeirra, sem um slíkt sjá. Niðurstöður beinna umhverfisrannsókna, svo og gögn um aðrar rannsóknir, sem nýst gætu í slíkum rannsóknum liggja á víð og dreif í lítt aðgengilegum skýrslum og gagnasöfnum. Brýn nauðsyn er á, að einn aðili taki að sér söfnun og úrvinnslu þeirra gagna, sem fyrir liggja og komi þeim á það form, að þau nýtist til ákvarðanatöku varðandi umhverfismál. Sama máli gegnir um erlendar niðurstöður á þessu sviði og upplýsingar um þær leiðir, sem farnar hafa verið í baráttunni við óvini umhverfisins.

10.2 Rannsókn á náttúrulegu umhverfisástandi jarðhitasvæða

Samantekt þarf að gera um samstarf rannsókna- og virkjunaraðila við náttúruverndaryfirvöld varðandi staðsetningu mannvirkja, jarðrask o.þ.h. Í því sambandi er rétt að fram komi samanburður á umhverfisspjöllum af völdum jarðhita og af völdum annarra orkukosta bæði hér á landi og erlendis.

Þau gögn, sem til eru um breytingar á hvera- og laugavirkni bæði á virkjuðum og óvirkjuðum svæðum verði könnuð rækilega, þannig að hugmynd fáist um að hvaða marki slíkar breytingar eru af manna völdum.

Gera þarf úttekt á fyrirliggjandi niðurstöðum þyngdar- og landmælinga á hinum ýmsu svæðum og meta hverjar líkur eru á markverðu landsigi miðað við hugsanlegan líftíma virkjananna. Einnig þarf að gera úttekt á niðurstöðum vatnsborðsmælinga og meta áhrif hugsanlegra breytinga. Athuganir á niðurstöðum annarra jarðeðlisfræðilegra mælinga, sérstaklega viðnámsmælinga, geta og orðið mjög mikilvægar fyrir þennan þátt.

Fara þarf yfir þau gögn, sem til eru um hávaðamælingar á virkjunarstöðum, ákveða hvort aðgerða er þörf og nota þær niðurstöður til að ákveða til hvaða ráðstafana skuli gripið á nýjum svæðum..

Kanna þarf vandlega núverandi vitneskju um breytingar á varma í umhverfi jarðhitasvæða, þar sem vitað er um blöndun misheitra vökva eða hitnun kerfa af öðrum sökum. Stefnt verði að mati á áhættu af slíkum varmabreytingum, einkum þar sem hættu er á röskun vistkerfa. Einnig ber að athuga, hvort viðbótarvarma er unnt að nýta á einhvern hátt.

Fara þarf yfir niðurstöður greininga þeirra efna, sem skaðleg geta talist og niðurstöður aflmælinga á þeim borholum sem sýnin eru úr (og rennslismælinga eða mats á náttúrulegu rennsli, þar sem við á) og fá þannig tölur um útstreymi efna frá hinum ýmsu jarðhitastöðum. Þar með er komið mat á mengunargetu þeirra og unnt að taka ákvörðun um áframhaldandi nýtingu með tilliti til hugsanlegrar mengunar. Einnig þarf að kanna að hvaða marki skaði af völdum úða er þekktur og hvort ástæða er til fyrirbyggjandi aðgerða varðandi hann.

10.3 Rannsókn á umhverfisástandi jarðhitasvæða í vinnslu

Ljóst er, að þær upplýsingar, sem nú eru til, eru gloppóttar. Niðurstöður gagnakönnunar leiða í ljós hvar skórinn kreppir helst að, og hvaða ráðstafanir þarf að gera til úrbóta. Reikna má með að gera þurfi land- og þyngdarmælingar,

vatnsborðsmælingar og hávaðamælingar auk þess að taka sýni til efnagreininga. Hingað til hefur höfuðáhersla verið lögð á greiningu efna, sem gefa upplýsingar um vinnsluhæfni og því hætt við, að heilsuspillandi efni hafi orðið út undan, oft vegna þess að styrkur þeirra í jarðhitavökva er gjarnan lítill og greining þeirra örðug. Því gæti farið svo, að einhver aðferðapróun tengdist slíkum rannsóknum.

Móta þarf tillögur um þær lágmarksrannsóknir, sem gera þarf á umhverfisþáttum, áður en ráðist er í virkjun jarðhitasvæðis. Einnig þarf að leggja línur um það hvaða þáttum beri að fylgjast með eftir að svæði fer í vinnslu og hver skuli vera lágmarkstíðni slíks eftirlits. Fram verður þó að koma, að jarðhitasvæði eru mismunandi og vegna sérstakra þátta getur þurft mun tíðara eftirlit á einu svæði en öðru.

Svo getur farið að sérstök umhverfisvandamál verði tímabundið mjög aðkallandi. Til dæmis er brennisteinsvetni í miklum styrk baneitrað og full ástæða til að gæta þess að honum sé haldið neðan hættumarka. Lykt þess er hins vegar mjög sterk, þó að styrkur sé langt fyrir neðan öll hættumörk. Erlend reynsla bendir til þess að kröfur íbúa um aðgerðir og uppsetningu hreinsibúnaðar eru mjög háðar því hvort um var að ræða náttúrulegt brennisteinsvetnisústreymi, áður en svæðið fór í vinnslu. Þess vegna er rétt að fylgjast vel með viðbrögðum við upptakum á borð við færslu brennisteinsvetnis frá Nesjavöllum til Reykjavíkur við sérstök skilyrði. Af öðrum efnum, sem sums staðar erlendis hafa valdið umtalsverðum áhyggjum má nefna kvikasilfur, arsen og radon.

Á sumum jarðhitasvæðum geta myndast gufupúðar á litlu dýpi við niðurdrátt og jafnvel valdið öflugum sprengingum. Fylgjast má með slíkri myndun með grunnum borunum, viðnáms og þyngdarmælingum, og er viðbúið að til slíkra aðgerða þurfi að grípa á sumum svæðanna.

Full ástæða er til að halda uppi fræðslu fyrir almenning um umhverfisáhrif jarðhitanýtingar. Gera þarf grein fyrir stöðu jarðhita í samanburði við aðra orkugjafa hvað umhverfisáhrif snertir og fyrir sérstökum vandamálum á borð við þá mengun af völdum brennisteinsvetnis, sem rædd er hér að ofan.

Setja þarf reglur um frágang jarðhitamannvirkja, sem ekki eru nýtt. Áður fyrr sáu einkaaðilar um boranir hola og hafa þeir lítið sinnt upplýsingum. Holum, sem ekki voru nýttar eða eyðilögðust, var lokað á einfaldan hátt og gleymdust jafnvel. Slíkar holur geta haft skaðleg áhrif á jarðhitakerfi, valdið grunnvatnsmengun og valdið tjóni, ef önnur mannvirkjagerð fer síðar fram á staðnum. Í þessu sambandi má benda á, að flestar gömlu holurnar í Námafjalli skemmdust af völdum eldsumbrota árið 1977. Landsvirkjun lét gera úttekt á ástandi þeirra og fékk tillögur um aðgerðir, sem síðan voru gerðar (Ásgrímur Guðmundsson o. fl. 1989). Slík vinnubrögð eru til fyrirmyndar og ætti að gera að reglu.

10.4 Umhverfisverkefni Orkustofnunar

Á Orkustofnun er verið að semja drög að rannsóknaráætlun, sem tekur til framangreindra þriggja þátta. Hugmyndin er, að verkið verði unnið af stofnuninni í samstarfi við virkjunaraðila. Verkið mun að njóta þess, að unnið er að öðrum verkefnum, sem það mun óhjákvæmilega skarast við og því unnt að nota sömu gögn eða afla þeirra um leið og annarra. Dæmi um verkefni, sem þannig tengjast rannsókn á umhverfisáhrifum jarðhita, eru: verkefni tengt rannsókn á eðli háhitasvæða, jarðhitaleit og eftirlit með vinnslu á tilteknum svæðum.

11. Helstu niðurstöður

Jarðhita má telja **umhverfisvæna orkulind**. Þó verður að viðhafa aðgæslu varðandi virkjun hans sem annarra orkulinda. Vandamál er varða mengun og röskun umhverfis tengjast aðallega virkjun háhita.

Almennt þarf að gera viðamikla **úttekt á öllum þáttum umhverfisáhrifa** samfara virkjun jarðhita áður en ráðist er í framkvæmdir. Í framhaldi af því þarf að fylgjast með þróun þessara þátta samhliða framvindu rannsókna, hönnunar og framkvæmda og gera viðeigandi ráðstafanir.

Nauðsynlegt er að hafa **viðtæk samráð** við þá sem hagsmuna eiga að gæta eins og t.d. 'andeigendur, sveitarstjórnir, hollustueftirlit, vinnueftirlit og náttúruverndarráð á öllum stigum virkjunar um þá þætti framkvæmda, sem líklegir eru til að valda umhverfisbreytingum.

Hátt jarðhitastig eykur til muna hættu á umhverfisvanda, þegar að virkjun kemur.

Brennisteinsvetni er helsti skaðvaldurinn hvað varðar efnamengun og í Kaliforníu hefur þótt ástæða til að setja upp dýran hreinsibúnað til að koma í veg fyrir útblástur þess. Enn hefur ekki þótt ástæða til slíks hérlendis, en þennan vanda ber jafnan að hafa í huga og taka þarf tillit til hans við ákvarðanir um virkjun jarðhita.

Niðurdæling er öflugasta leiðin til að losna við frárennsli frá jarðhitavirkjunum. Henni er nú mjög víða beitt og er aðkallandi að beina sjónum Íslendinga að henni í ríkari mæli en verið hefur, bæði vegna áhrifa hennar til bættis umhverfis og lengingar líftíma jarðhitasvæða.

Ýmislegt hefur verið gert til að kanna umhverfisáhrif jarðhita á Íslandi, en aðgerðir hafa hingað til verið lítt samræmdar. Ekki er heldur ljóst hvaða aðilar eiga að sinna hinum aðskiljanlegu þáttum slíkra rannsókna og hver sé upplýsingaskylda þeirra, sem þær stunda. Þörf er á að setja reglur um skyldur virkjunaraðila hvað þetta varðar. Fyrst þarf þó að gera viðtæka úttekt á íslenskum og erlendum gögnum, sem ganga má út frá í þeim rannsóknum, sem eftir kunna að fara. Þegar slík **úttekt** liggur fyrir er auðveldara að skilgreina hverra rannsókna er þörf til að fylla upp í þau göt, sem fram kunna að koma.

Heimildir

- Ármannsson, H. 1989. Predicting calcite deposition in Krafla boreholes. *Geothermics*, 18, 25 - 32.
- Árni Gunnarsson & Einar Gunnlaugsson 1986. Affallsvatn frá Nesjavallavirkjun. Staða rannsókna í árslok 1986. Hitaveita Reykjavíkur, Reykjavík, 27 s.
- Arnórsson, S. 1987. Gas chemistry of the Krísuvík geothermal field, Iceland, with special reference to evaluation of steam condensation in upflow zones. *Jökull*, 37, 31 - 47.
- Arnórsson, S., Ívarsson, G., Cuff, K.E. & Sæmundsson, K. 1987. Geothermal activity in the Torfajökull field, South Iceland. *Jökull*, 37, 1 - 12.
- Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Sæpór L. Jónsson & Sverrir Þórhallsson 1989. Borholur í Bjarnarlagi. Orkustofnun. OS-89046/JHD 21 B, 87 s.
- Axtman, R.C. 1975. Emission control of gas effluents from geothermal power plants. *Environ. Lett.*, 8, 135 - 146.
- Benson, S.M., Janik, C.J., Long, D.C., Solbau, R.D., Lienau, P.J., Culver, G.G., Sammel, E.A., Swanson, S.R., Hart, D.N., Yee, A., White, A.F., Stallard, M.L., Brown, A.P., Wheelert, M.C., Winnet, T.L., Fong, G. & Eakin, G.B. 1984. Data from pumping and injection tests and chemical sampling in the geothermal aquifer at Klamath Falls, Oregon. US Geol. Survey. Open-File Rep. 84 - 186, 101 s.
- Brüel & Kjær 1984. Measuring sound, Brüel & Kjær, Nærum, 42 s.
- Böðvarsson, G.S., Pruess, K., Stefánsson, V. & Elíasson, E.T. 1984. The Krafla geothermal field, Iceland 2. The natural state of the system. *Water Res. Res.*, 20, 1531 - 1544.
- Crittenden, M.D. 1981. Environmental aspects of geothermal development. Chapter 7 in Rybach, L. & Muffler, L.J.P. (Editors): *Geothermal systems. Principles and case histories.* Wiley, New York, 199 - 217.
- de Zeeuw, E. & Gíslason, G. 1988. The effect of volcanic activity on the ground water system in the Námafjall geothermal area, NE Iceland. Orkustofnun. OS-88042/JHD-07, 39 s.
- Eberhardt-Philips, D. & Oppenheimer, D.H. 1984. Induced seismicity in the Geysers geothermal area, California. *J. Geophys. Res.*, 89, 191 - 207.
- Edner, H., Faris, G.W., Sunesson, A., Svanberg, S., Bjarnason, J.Ö., Kristmannsdóttir, H. & Sigurðsson, K.H. 1991. Lidar search for atmospheric atomic mercury in Icelandic geothermal fields. *J. Geophys. Res.* (lagt fram til birtingar).
- El-Hinnawi, E. (Editor) 1981. Environmental impacts of production and use of energy. An assessment prepared by the United Nations Environment Programme. Tycool Press, 322 s.
- Ellis, A.J. 1975. Environmental impact of geothermal utilization. Report prepared for the United Nations Environment Programme. UNEP, 62 s.
- Ellis, A.J. 1978. Geothermal fluid chemistry and human health. *Geothermics*, 6, 175 - 182.
- EPA 1985. Reports bibliography PB 188068. Occupational safety and health Act. US geothermal resources operational order No. 4. GRO.

Fernelius, W.A. 1975. Production of salt water by desalting geothermal brines. Proc. 2nd U.N. Symp. Develop. Use Geoth. Resources, 3, 2201 -2208.

Gestur Gíslason, Gunnar V. Johnsen, Halldór Ármannsson, Helgi Torfason & Knútur Árnason 1984. Peistareykir. Yfirborðsrannsóknir á jarðhitasvæðinu. Orkustofnun. OS-84089/JHD-16, 134 s.

Gunnar V. Johnsen 1983. Þyngdarmælingar í nágrenni Svartsengis. OS-83083/JHD-15, 31 s.

Guttormur Sigbjarnarson, Haukur Tómasson, Jónas Elíasson & Stefán Arnórsson 1974. Álitsgerð um mengunarhættu vegna affallsvatns við Kröflu eða Hverarönd. Orkustofnun. OSJHD 7427, 15 s.

Halldór Ármannsson & Trausti Hauksson 1980. Krafla. Samsetning gass í gufuaugum. Orkustofnun. OS-80027/JHD-16, 51 s.

Halldór Ármannsson, Helgi F. Magnússon, Pétur Sigurðsson, & Sigurjón Rist 1973. Efnarannsókn vatns. Vatnasvið Hvítár-Ölfusár, einnig Þjórsá við Urriðafoss. Orkustofnun-Vatnamælingar, Rannsóknastofnun iðnaðarins, Reykjavík, 28 s.

Hem, J.D. 1970. Chemical behaviour of Hg in aqueous media. U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 713, 10 - 24.

Henley, R.W. & Stewart, M.K. 1983. Chemical and isotopic changes in the hydrology of the Tauhara geothermal field due to exploitation at Wairakei. J. Volc. Geoth. Res., 15, 285 - 314.

Hibara, Y., Takara, M. & Sakanashi, H. 1989. Operating results and reinjection of Milos field in Greece. Geothermics, 18, 129 - 135.

Hitaveita Reykjavíkur, Orkustofnun 1988. Selta á Laugarnessvæði. Hitaveita Reykjavíkur, 199 s.

Hjálmar Eysteinnsson, Gunnar Þorbergsson & Ólafur G. Flóvenz 1991. Landhæðar- og þyngdarmælingar við Svartsengi og á Reykjanesi. Orkustofnun. Greinargerð. HE-GP-ÓGF-91/01, 10 s.

Hjörleifur Jakobsson & Sverrir Þórhallsson 1983. Hitaveita Hveragerðis. Áhrif útfellinga á flutningsgetu hitaveitulagna. Orkustofnun. OS-83048/JHD-08, 31 s.

Hochstein, M.P. 1988. Assessment and modelling of geothermal reservoirs (Small utilization schemes). Geothermics, 17, 15 - 49.

Honegger, J.L. Czernichowski, Lauriol, I., Criaud, A., Menjoz, A., Sainson, S. & Guezennec, J. 1989. Detailed study of sulfide scaling at La Courneuve Nord, a geothermal exploitation of the Paris basin, France. Geothermics, 18, 137 - 144.

Horne, R.N. 1982. Effects of water injection into fractured geothermal reservoirs. A summary of experience worldwide. Stanford Geothermal Programme. SGP-TR-57, 18 s.

Horne, R.N. & Fuente, H. 1989. Tracer testing at Los Azufres. Proc. 14th Workshop on geothermal reservoir engineering. Stanford. SGP-TR-122, 197 - 199.

Hrefna Kristmannsdóttir 1983. Breytingar á efnasamsetningu jarðhitavatns á Seltjarnarnesi á tímabilinu 1970 - 1983. Orkustofnun. OS-83106/JHD-19, 27 s.

- Hrefna Kristmannsdóttir 1990. Hitaveituvatn á Íslandi. Efnasamsetning og flokkun. Orkustofnun. OS-90042/JHD-23 B, 15 s.
- Jens Tómasson 1988. Elliðaáarsvæðið. Uppruni og eðli jarðhitans. Orkustofnun. OS-88027/JHD-03, 67 s.
- Jón Örn Bjarnason 1991. Um sýrustig úrkomu í Svartsengi. Orkustofnun. Greinargerð. JÖB-91/02, 4 s.
- Jón Steinar Guðmundsson 1978. Hitaveita Suðurnesja. Útfellingar og frárennsli orkuversins við Svartsengi: Athuganir sumarið 1978. Orkustofnun. OS-JHD-7850, 40 s.
- Jón Steinar Guðmundsson 1980. Umhverfisáhrif jarðhitanytingar. Náttúrufræðingurinn, 50, 294 - 308.
- Jón Steinar Guðmundsson 1983. Niðurdælingartilraun við Svartsengi 1982. Orkustofnun. OS-83047/JHD-07, 49 s.
- Jón Jónsson 1980. Verndun jarðhitasvæða. Náttúrufræðingurinn, 50, 309 - 313.
- Jón Ólafsson 1978. Kvikasilfur og arsen í borholum við Kröflu og Námafjall. Náttúrufræðingurinn, 48, 52 -57
- Karl Ragnars, Halldór Ármannsson & Benedikt Steingrímsson 1979. Ölfusdalur. Mælingar í borholum G-3, G-6 og G-7. Framvinduskýrsla. Orkustofnun. OS-79053/JHD-25, 51 s.
- McKee, J. & Wolf, H.W. 1971. Water quality criteria. California State Water Resources Board, Publ. 3A.
- Leibowitz, L.P. 1977. Projections of future H₂S emissions and geothermal power generation. Geoth. Resou. C, Trans., 1, 183 - 185.
- Lumsden, G.I. (Chief editor) 1991. Geology and the environment in Western Europe. Oxford University Press (í prentun).
- Muna, Z.W. & Ojiambo, S.B. 1985. Possible influence of gases emitted from Olkaria geothermal field on the rainwater of its surroundings. Kenya Power Company Ltd., Geothermal Project, Olkaria. Report No. GC/GEN/038, 15 s.
- Ólafson, J. 1975. Volcanic influence on seawater at Heimaey. Nature, 255, 138 - 141.
- Ólafsson, J. & Riley, J.P. 1978. Geochemical studies on the thermal brine from Reykjanes, Iceland. Chem. Geol., 219 - 237.
- Raleigh, C.B., Healey, J.H. & Broedehoeft, J.D. 1976. An experiment in earthquake control at Rangeley, Colorado. Science, 191, 1230 - 1237.
- Rogers, M. 1990. Operating and maintenance experience with dry steam power plants. Pre-symposium course No. 1. Geothermal energy conversion technology and power plant experience. Geoth. Resou. C, Kailua-Kona, Hawaii, 10 s.
- Sax, N.I. 1975. Dangerous properties of industrial materials (4th Ed.). van Norstrand Reinhold Co., New York.
- Sigurður Þórarinnsson 1978. Hverir og laugar, ölkeldur og kaldavermsl. Náttúruverndarráð. Fjölrit nr. 3, 14 s.

Sigurjón Rist 1974. Efnarannsókn vatna. Vatnasvið Hvítár-Ölfusár, einnig Þjórsá við Urriðafoss. Orkustofnun-Vatnamælingar, Rannsóknastofnun iðnaðarins. OSV7405, 29 s.

Stefán Arnórsson & Einar Gunnlaugsson 1976. Vatnasvið Hlíðardalslækjar og affallsvatn frá Kröfluvirkjun. Orkustofnun. OSJHD7602, 13 s.

Thain, I.A. & Stacey, R.E. 1984. Wairakei geothermal power stations. 25 year's operation. Electricity Division, Ministry of Energy, New Zealand, 14 s.

Tómasson, J. & Halldórsson, G.K. 1981. The cooling of the Selfoss geothermal area, S. Iceland. GRC Trans.,5, 209 - 212.

Trausti Hauksson 1980. Svartsengi. Efnasamsetning heits grunnvatns og hitaveituvatns. Orkustofnun. OS-80023/JHD-12, 38 s.

Trausti Hauksson 1985. Niðurdælingartilraun í Svartsengi 1984. Orkustofnun. OS-85107/JHD-13, 109 s.

Virkir-Orkint 1990. Feasibility report. Geothermal heating project for Hódmezővásárhely, Hungary. Geotherm Ltd. Virkir-Orkint-Geothermal Co., 37 s.

VST & Virkir 1975. Kröfluveita. Skýrsla um meðferð affallsvatns frá Kröfluvirkjun fyrir Orkustofnun. VST, Virkir hf.

Weres, O. 1988. Environmental protection and the chemistry of geothermal fluids. Geotherm. Sci. & Tech.,1, 253 - 302.

WHO 1972. Long-term programme in environmental pollution control in Europe: The hazards to health of persistent substances. Copenhagen.

WHO 1984. Guidelines for drinking water quality. Volume 1. Recommendations, Geneva, 130 s.

Þóroddur F. Þóroddsson & Guttormur Sigbjarnarson 1983. Kísiliójan við Mývatn. Grunnvatnsrannsóknir. Orkustofnun. OS-83118/VOD-10, 41 s.



VATNSORKULINDIR LANDSINS, ÁTAK Í GRUNNRANNSÓKNUM

Erindi á ársfundi Orkustofnunar 1991
Haukur Tómasson, forstjóri Vatnsorkudeildar
Hákon Aðalsteinsson, verkefnisstjóri

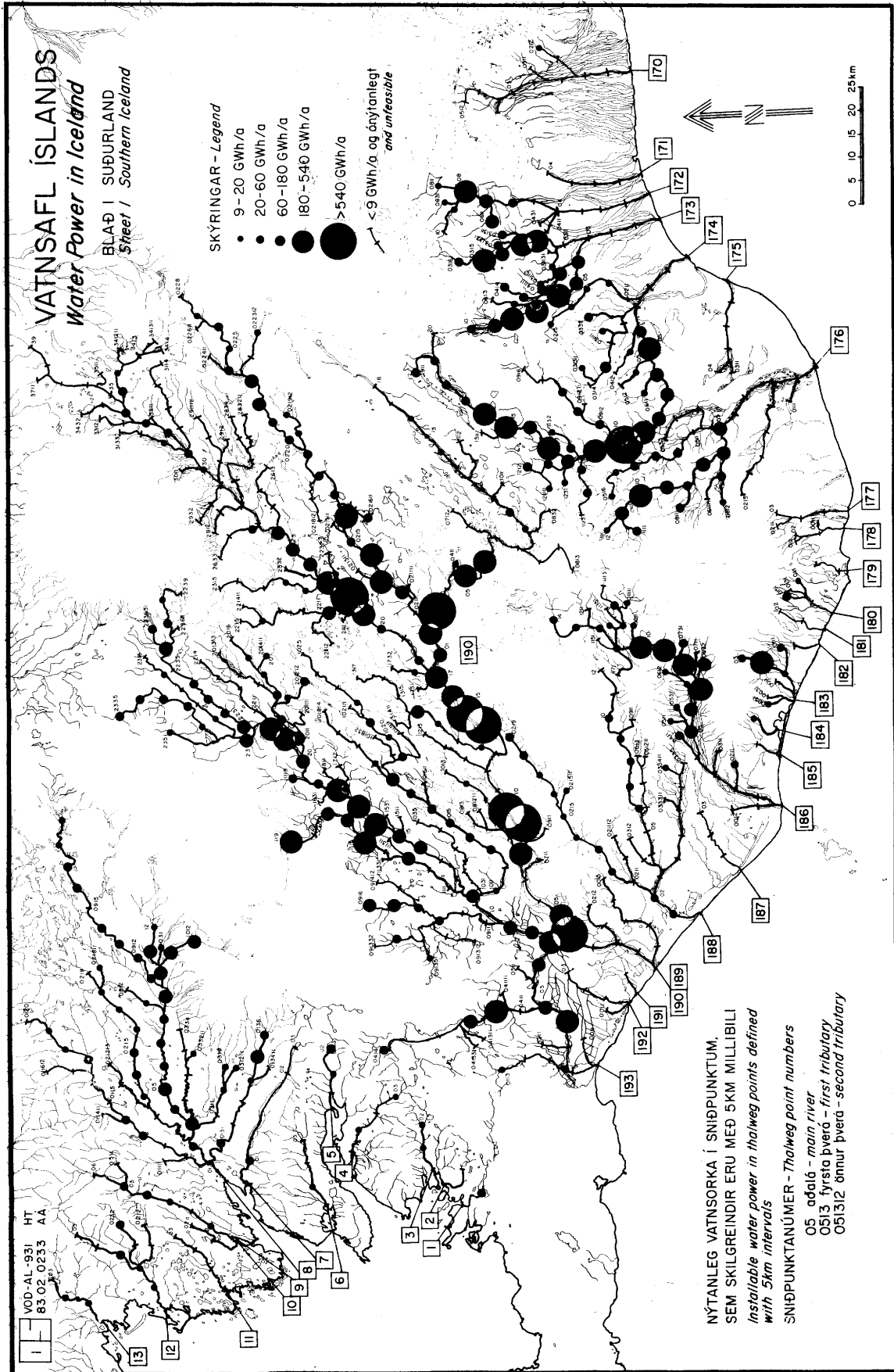
1. Inngangur

Meiri bjartsýni ríkir nú um uppbyggingu orkufreks iðnaðar hér á landi en fyrir nokkrum árum. Þessi bjartsýni mótar starf raforkugeirans um þessar mundir. Landsvirkjun undirbýr byggingu nýrra virkjana af krafti og Orkustofnun hugar að næstu skrefum í undirbúningi að ákvörðun um hönnun nýrra virkjana. Um verkaskiptingu þessara aðila gildir sú meginregla, að Orkustofnun sinnir yfirlitsrannsóknnum og áætlanagerð um hagnýtingu orkulindanna (lög nr. 58/1967), en Landsvirkjun undirbýr hönnun, hannar og virkjar. Í reglugerð um Landsvirkjun er verkaskiptingin þannig útfærð: "**Við áætlanagerð um nýjar aflstöðvar ... hefur Landsvirkjun samvinnu við Orkustofnun, sem skal í aðalatriðum verða þannig að Orkustofnun annist grundvallarathuganir og almennar rannsóknir til undirbúnings ákvarðana um virkjunarstaði, en Landsvirkjun ákveður að fengnum nauðsynlegum heimildum hvar virkjað skuli og hvenær**" (reglugerð um Landsvirkjun nr. 760/1983).

Þótt Orkustofnun sé sjálfstæður ráðgjafi stjórnvalda um allt er lýtur að orkumálum, þar með taldar ákvarðanir um nýjar vatnsaflstöðvar, er nauðsynlegt að þessir aðilar hafi samvinnu um undirbúningsrannsóknir, vegna þess hve mikilvægt það er að "réttir" virkjunarkostir séu valdir. Til þess að svo megi verða, þurfa vandaðar grunnrannsóknir að liggja að baki verkfræðilega forathuguðum virkjunum, sem valið er úr til hönnunar. Við þetta nýtur reynslu Landsvirkjunar af byggingu og rekstri virkjana.

Orkustofnun og Landsvirkjun hafa að undanfögnu unnið að áætlun um virkjunarrannsóknir í náinni framtíð. Forsenda þeirrar áætlunar er sú, að það sé stefna stjórnvalda að laða til landsins orkufrekan iðnað, sem nýti hagkvæma raforku úr vatnsföllum landsins. Jafnframt er gert ráð fyrir því að þessi uppbygging verði nokkuð samfelld. Nú má e.t.v. segja að þetta hafi heyrst áður, án þess að af slíkri uppbyggingu hafi orðið. Hins vegar er það ljóst, að ef ekki er í upphafi unnið að undirbúningi virkjana miðað við hraða samfellda uppbyggingu, verður slíkt varla mögulegt þótt tækifæri bjóðist, nema eiga það á hættu að leggja út í illa undirbúnar virkjunarframkvæmdir, þar sem brugðið getur til beggja vona um hagkvæmni.

Kostir vatnsorku til raforkuframleiðslu eru margir: Hún er hrein og endurnýjanleg auðlind. Vatnsorkuver endast margfalt lengur en sem nemur afskriftartíma þeirra, og rekstur þeirra kostar sáralítið miðað við rekstur annarra orkuvera. Að afskriftartíma loknum eru vatnsorkuver því sannkallaðar gróttarkvarnir. Gallar þeirra eru fyrst og fremst tengdir miklum stofnkostnaði og landþörf vegna lóna, vatnsvega og háspennulína. Í heildina hefur landþörf vegna virkjana verið metin 1000 til 1100 km², sem er rétt um 1 % af flatarmáli landsins. Unnið er að heildarmati á mögulegum árekstrum þess við önnur nýtingarsjónarmið.



VATNSAFL ÍSLANDS
Water Power in Iceland

BLAÐ I SUBURLAND
Sýner / Southern Iceland

- SKÝRINGAR - Legend
- 9-20 GWh/a
 - 20-60 GWh/a
 - 60-180 GWh/a
 - 180-540 GWh/a
 - >540 GWh/a
 - ⚡ < 9 GWh/a og ónýtanlegt and unfeasible

VDD-AL-93L HT
85.02.0235 AA

NÝTANLEG VATNSORKA Í SNÍÐPUNKTUM.
SEM SKILGREINDIR ERU MÆD 5KM MILLIBILI
Installable water power in thalweg points defined with 5km intervals

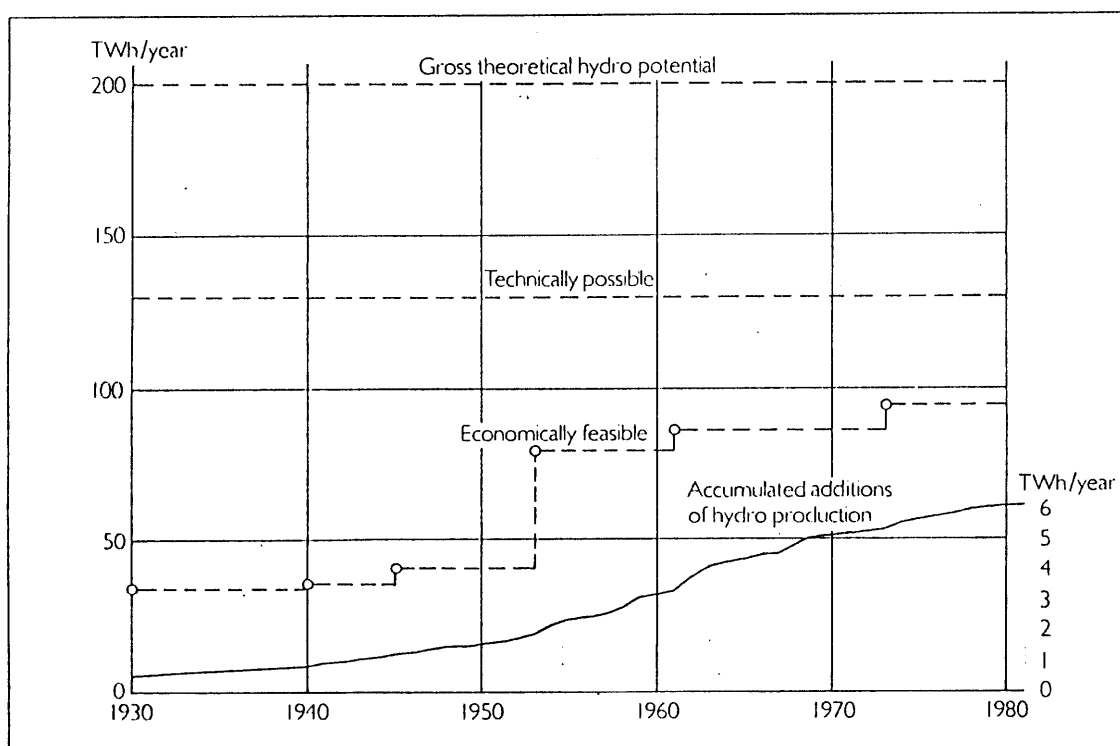
SNÍÐPUNKTANÚMÉR - Thalweg point numbers
05 aðalá - main river
0513 fyrsta þverá - first tributary
051312 önnur þverá - second tributary

2. Vatnsorkulindir Íslands

Tæknilega nýtanleg vatnsorka er áætluð um 64 TWh/ári. Það mat byggir á því að áætla rennsli í öllum vatnsföllum landsins með 5 km millibili frá ósi til upptaka (dæmi; mynd 1). Hver punktur í langsníði árinna kallast sniðpunktur, og telst nýtanlegur ef hann reiknast gefa 1 MW afl eða meira, að teknu tilliti til falltapa, og að nýting rennslisorkunnar sé 90 %. Af tæknilega nýtanlegri vatnsorku er hluti í svo smáum og dreifðum einingum að örugglega er óhagkvæmt að nýta hana. Við höfum skilgreint hugtakið **rennslisorkustað**, en það er sá staður þar sem fjórir sniðpunktar í röð eða í svipaðri hæð á samliggjandi vatnasviðum gáfu meira en 100 GWh ársorku. Þeir eru sýndir á mynd 3, og gefa samtals um 55.000 GWh ársorku (tafla 1). Það getur aldrei verið hagkvæmt að gernýta allt rennslið, og til að nálgast það sem gæti verið hagkvæmt að nýta, en engar áætlanir eru til um, voru eftirfarandi kröfur gerðar:

- Stakur sniðpunktur verður að gefa a.m.k. 80 GWh orku á ári.
- Tveir samliggjandi verða að gefa 105, þrír 130 og fjórir 160 GWh/ári eða meira.

Mörkin fyrir nýtanlega orku eru breytileg, og fara þau fyrst og fremst eftir markaðnum, en þekking og tækniþróun hefur einnig áhrif þar á. Á árabílinu 1930 til 1980 endurskoðuðu Svíar sínar áætlanir um hagkvæma vatnsorku reglulega. Við eina slíka endurskoðun árið 1952 tvöfaldaðaðist áætluð hagkvæm orka vegna breyttra forsendna við mat á henni, og áætlanir um hagkvæma orku hafa alltaf verið upp á við í öllum endurskoðunum (mynd 2).



MYND 2: Breytingar á mati hagkvæmrar vatnsorku í Svíþjóð á tímabilinu 1930-'80. (Úr: HYDRO POWER in Sweden, Svenska Kraftverksföreningen, 1981).

Gerðar hafa verið áætlanir um nýjar virkjanir, sem hafa samtals um 26 TWh orkugetu á ári. Að vonum eru þessar áætlanir flestar um staði sem með sæmilegri grunnþekkingu má ætla að séu í hagkvæmari kantinum. Sumar eru þó það lauslegar, að ekki er hægt að tala um marktækar niðurstöður. Með nokkurri vissu má áætla að fá megi um 18.000 GWh ársorku úr virkjunum, sem eru hagkvæmar eða mjög hagkvæmar miðað við núverandi forsendur.

Um marga rennslisorkustaði eru engar áætlanir til, og þótti ástæða til að áætla orkugetu þeirra heldur varlegar en í áætlun um nýtanlega rennslisorku. Áætluð hagkvæm orkugeta þeirra var því þrengd enn frekar, og gert ráð fyrir að einungis 70 % rennslisorkunnar væri nýtanleg. Miðað við reynslu Svía má gera sér vonir um að virkjunarkostum ofan hagkvæmni-marka fjölgi með tímanum. Á hinn bóginn er ekkert tillit tekið til þess í áætlunum um hina íslensku orkulind, að hugsanlega þurfi að falla frá einhverjum nýtingarmöguleikum vegna umhverfissjónarmiða, en unnið er að úttekt á því í samvinnu fulltrúa Iðnaðarráðuneytis og Náttúruverndarráðs.

Tafla 1: Nýtanleg vatnsorka (GWh á ári) eftir landshlutum ásamt mati á því hve stóran hluta hennar gæti verið hagkvæmt að nýta.

	Nýtanleg	Hagkvæm	þar af virkjuð
Vesturland	1000	490	40
Vestfirðir	800	610	70
Norðurland	8600	4700	* 900
Norðausturland**	12900	9500	-
Austurland	3500	3600	100
Suðurland	27900	18500	3800
Alls:	54600	37400	4900

* Blönduvirkjun, sem tekin verður í notkun 1991-'92 er meðtalin.

** Jökulsá á Fjöllum og Jökulsá á Dal og svæðið þar á milli.

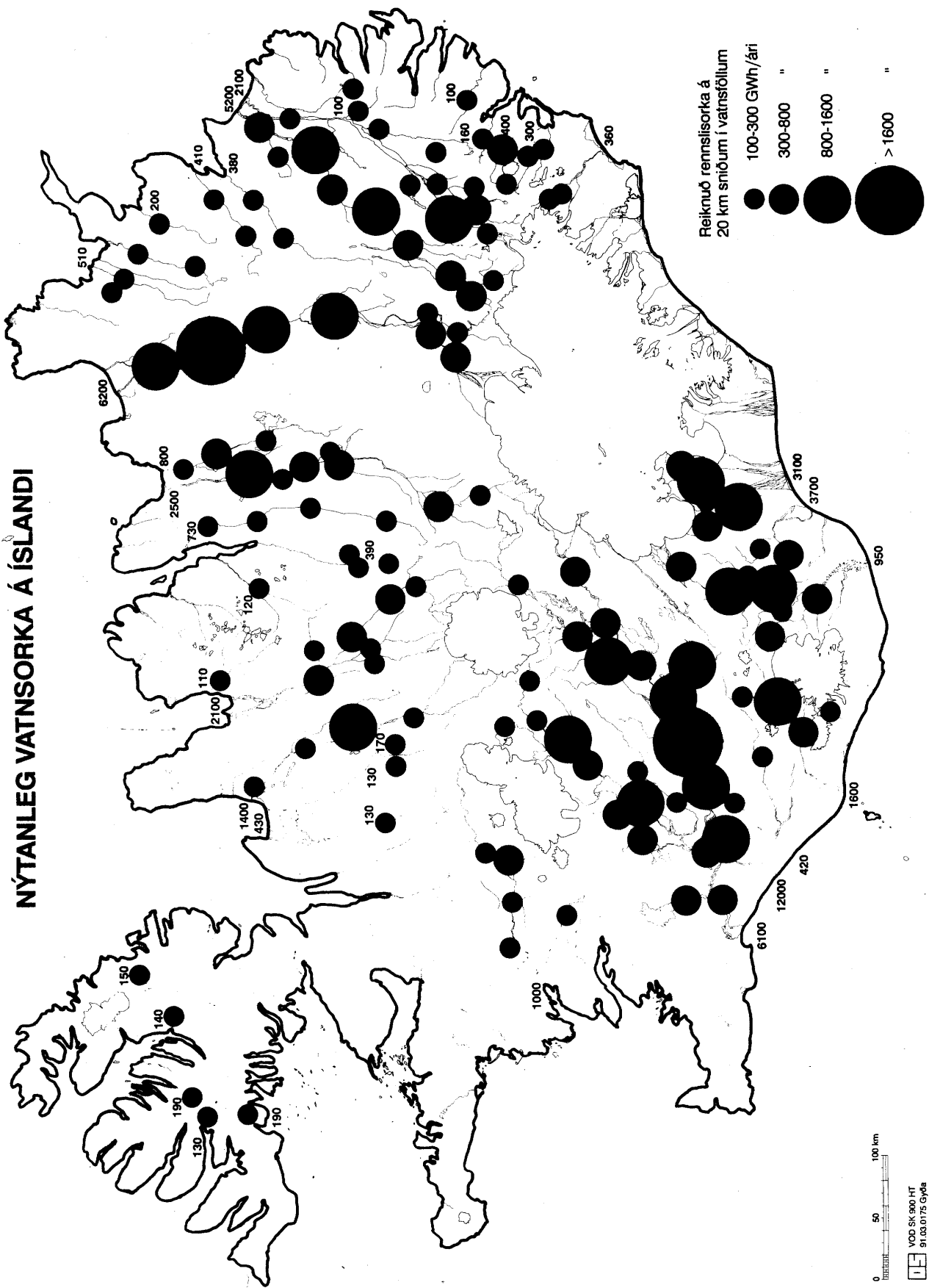
Raforkuframleiðsla í landinu er um 4,2 TWh/ári, að 94 hundraðshlutum úr vatnsorku. Á næstu tveimur árum bætist framleiðsla Blönduvirkjunar við, og verður afkastageta vatnsorku-vera þá um 5 TWh á ári.

Niðurstöður af framangreindu mati er að í grófum dráttum megi skipta þeirri vatnsorku, sem ætla má að geti verið hagkvæmt að nýta á næstu áratugum sem hér segir:

- 18 TWh á ári eru ótvírætt hagkvæmar.
- 8 TWh á ári með óvissri hagkvæmni (eða hagkvæmar með tímanum)
- 6 TWh á ári þar sem hagkvæmni er óþekkt.

Áður en úr því verður skorið hverjar af hinum hagkvæmu eru hentugastar til virkjunar fyrir væntanlegan raforkumarkað, þarf víðast hvar mun meiri rannsóknir. Þróun markaðarins er erfitt að sjá fyrir, og þarf að bjóða upp á margbreytilega virkjunarkosti, þegar taka þarf ákvarðanir um hönnun og byggingu nýrra virkjana. Af ofangreindum niðurstöðum sést að mikið verk er enn óunnið í grunnrannsóknum á vatnsorku landsins.

NÝTANLEG VATNSORKA Á ÍSLANDI



VOÐ SK 900 HT
9.1.03.0175 Gyða

3. Rannsókniferlið

Rannsóknir á vatnsorku eru tímafrekar. Ástæður þess eru tvær; annars vegar eru þær margþættar og flóknar, hins vegar er rennsli vatnsfalla mjög breytilegt með tíma, sem kallar á langtímamælingar. Rannsókniferlinu er skipt í eftirtalin fjögur stig

Forathuganir
Forhönnun
Verkhönnun
Útboð

Allt ferlið getur tekið nokkuð á annan áratug, allt eftir því hve miklar almennar upplýsingar liggja fyrir. Rannsóknir eru í eðli sínu gagnvirkt ferli, þar sem reglulega þarf að meta niðurstöður, og taka afstöðu til framhalds þeirra. Ýmsar grunnrannsóknir þarf vegna forathugunar, sem nýtast einnig á síðari stigum. Hugmyndir um virkjunartilhögun breytast í tímans rás, t.d. vegna breyttrar tækni eða sjónarmiða sem geta varðað markað og umhverfismál. Í einstaka tilvikum verða umhverfismál fyrirsjáanlega flókin úrlausnar. Nærtækustu dæmin eru við Jökulsárnar á NA-landi og Efri Hvítá. Í áætlunum Orkustofnunar og Landsvirkjunar er gert ráð fyrir að við hinar fyrrnefndu verði næstu árum varið til rannsókna, sem fyrst og fremst er ætlað að finna virkjunarleið sem sameinar það tvennt að vera nægilega hagkvæm og ásættanleg við umhverfissjónarmið.

Gott dæmi um breytingu á virkjunartilhögun vegna tækniþróunar er Fljótsdalsvirkjun. Vegna lækkaðs kostnaðar við jarðgangagerð, hefur henni nú verið breytt úr skurðavirkjun í jarðgangavirkjun. Þeirri breytingu fylgir mun minna rask á yfirborði, og má ætla að samsvarandi breyting verði á mörgum virkjunarhugmyndum við endurskoðun forathugana. Þetta er almennt jákvætt frá sjónarhóli umhverfismála, og einnig vegna rekstraröryggis virkjunarinnar.

4. Breytilegar virkjunartilhaganir

Hver virkjun er samsett úr nokkrum mismunandi mannvirkjum með tilheyrandi búnaði. Þau helstu eru stöðvarhús með vélum og rafbúnaði, vatnsvegir; skurðir eða göng til og frá stöðvarhúsi og miðlunarlón, sem oft er fjarri inntaki að stöðvarhúsi. Loks má nefna veitur frá nálægum vatnasviðum. Oft er hlutfalli milli hins fasta kostnaðar einstakra mannvirkja í virkjun og hins breytilega þannig háttað, að ódýrir möguleikar á veitum geta verið mjög hagkvæmir. Í töflu 2 eru tekin nokkur dæmi til skýringar.

Ýmislegt athyglisvert má lesa úr töflu 2 um verðhlutföll mismunandi verkþátta einstakra virkjana, en ætlunin er að huga að hvernig lækkandi kostnaður af veitum getur gjörbreytt virkjunarhugmyndum. Með ódýrum jarðgöngum geta veitur, sem miðað við eldri kostnaðarforsendur eru full dýrar, svo sem Hraunþúfuveita í Stafnsvatnavirkjun, orðið hagkvæmar. Ennfremur gætu ódýrari veitur orðið til þess að hægt væri að stækka smávirkjanir eins og Mjólká 3 og þar með lækka stöðvarkostnað hlutfallslega. Einnig er vert að nefna Hraunavirkjun, sem kann að tvöfalda virkjunarmöguleika í Fljótsdal og byggir fyrst og fremst á ódýrum jarðgöngum. Þessi dæmi sýna að sveigjanleiki er nauðsynlegur í útfærslu virkjunarhugmynda. Til að auðvelda og flýta endurreiknun virkjunarhugmynda á hvaða stigi sem er, verður að varðveita útreikninga á kostnaði við einstök mannvirki á tölvutæku formi. Í því skyni er verið að setja upp virkjunarbanka á tölvu Orkustofnunar.

Tafla 2: Skipting kostnaðar við meginhluta hvernir virkjunar, reiknuð í kr/kWh á ári. Í aftasta lið er fremri dálkurinn (a) áætlaður kostnaður miðað við orkugetu virkjunar, en í þeim aftari (b) er miðað við rennslisorku þess vatns sem veitt er.

	Stöð	Vatnsvegur	Miðlun	Veitur	
				a	b
Urriðafossvirkjun	8.4	7.4	0	0	0
Fljótsdalsvirkjun	5.3	5.7	2.8	1.4	5.6
Stafnsvatnavirkjun	6.0	5.7	4.1	0.5	4.1
" Hraunþúfuveita	-	-	-	-	9.9
Mjólká 3 (stækkun)	10.5	3.8	1.6	5.2	-

5. Staða virkjunarrannsókna

Ef gengið verður frá samningum um nýtt 200 þús. tn álver, sem þarf um 3000 GWh ársorku, verður jafnframt að taka ákvarðanir um byggingu nýrra raforkuvera með um 2500 GWh ársorkugetu. Blönduvirkjun (720 GWh á ári) verður tilbúin á árunum 1991-92. Þær virkjanir sem eftir standa á verkhönnunarstigi eru Villinganesvirkjun, Sultartangavirkjun og Vatnsfells-
virkjun (sem gefa alls um 1300 GWh/ári).

Orkustofnun og Landsvirkjun hafa metið það svo, að í hvert sinn sem teknar hafa verið ákvarðanir um virkjun fyrir stóriðju þurfi að verkanna nýjar virkjanir, sem mætt geta þörfum stóriðjuvers á borð við 200 þús tn álver, auk vaxtar hins almenna markaðar (60 GWh/ári) í u.þ.b. 10 ár. Þetta mat svarar til þess að ætíð þurfi að vera til reiðu verkannaðar virkjanir, sem gætu skilað markaðnum minnst 3500-4000 GWh á ári. Þetta þýðir að eftir að áður nefndar framkvæmdir hafa verið ákveðnar, þarf að verkanna nýjar virkjanir sem gætu skilað um 2700 GWh/ári (viðbót við þá 1300 sem eftir stæðu verkannaðar, sbr. fyrri málsgrein). Raunar mun meira ef talin er þörf á að geta valið úr verkhönnuðum kostum, eins og hingað til.

Undirbúningur að nauðsynlegu átaki í verkhönnun er er þannig mikilvæg forsenda átaks í vatnsorkurannsóknum, en jafnframt þarf að sjá til þess að framhald geti orðið á uppbyggingu orkufreks iðnaðar í samræmi við ásetning stjórnvalda.

6. Markmið áætlunarinnar

Skipta má markmiðum áætlunarinnar í skammtíma- og langtímamarkmið:

- Skammtíamarkmið lúta að átaki til að vera við því búin að sjá nýjum áfanga orkufreks iðnaðar fyrir raforku um næstu aldamót.
- Langtímamarkmið horfa til lengri framtíðar, til þess er kann að taka við handan aldamótanna. Þá má hugsa sér áframhald í uppbyggingu orkufreks iðnaðar líkt og áður er lýst og tengingu við raforkukerfi Evrópu.

Vegna þess hve undirbúningur vatnsaflsvirkjana tekur langan tíma veitir ekkert af því að hefja nú þegar undirbúning slíkra virkjana. Að öðrum kosti erum við óviðbúnir því að nota tækifærin þegar þau bjóðast. Á væntanlegum samkeppnismörkuðum Evrópu verður ekki mikið hlustað á þann sem lýsir sig **kannske** reiðubúinn til að selja raforku á óvissu verði eftir 10-15 ár, en annað hefur hinn óviðbúni ekki að bjóða.

Annar mikilvægur þáttur er að undirbúa heildaráætlun um virkjanlega vatnsorku og mat á hagkvæmni hennar, sem megi leggja fyrir stjórnvöld fyrir aldamót.

7. Áætlun um grunnrannsóknir

Undirbúningsrannsóknir nokkurra virkjunarstaða eru það vel á vegi staddar, að í þeim tilfellum ætti að vera mögulegt að hefja hönnun á árunum 1992-93. Þær eru: Efri-Þjórsá (1300-1500 GWh/ári), Búðarháls (600 GWh/ári) og Jökulsár í Skagafirði (800-1000 GWh/ári). Efri-Þjórsá þarf að endurskoða með tilliti til nýrrar tækni í jarðgangagerð. Við Búðarháls þarf að bera kostnað af virkjun með jarðgöngum og lítilli stíflu saman við kostnað af virkjun með stórrí stíflu. Í Jökulsánum í Skagafirði getur ný tækni boðið upp á stærri virkjanir með meiri veitum og lengri vatnsvegum.

Til viðbótar gætu virkjun við Íshólsvatn og virkjun af Hraunum sunnan Fljótisdals komið til greina við val á virkjunum til hönnunar 1-2 árum síðar, ef endurskoðun á forathugun þeirra gefur tilefni til þess. Rannsóknir á þeim eru skemmra á veg komnar. Þá má nefna virkjanir í Þjórsá neðan Búrfells, en hætta á Suðurlandsskjálfta mælir með frestun þeirra um sinn. Þar takmarkast rannsóknir því við hreyfingar lands og breytingar á farvegi árinna vegna minni aurburðar eftir að lón voru mynduð ofar í henni.

Aðrir virkjunarkostir eru skemmra á veg komnir í undirbúningi.

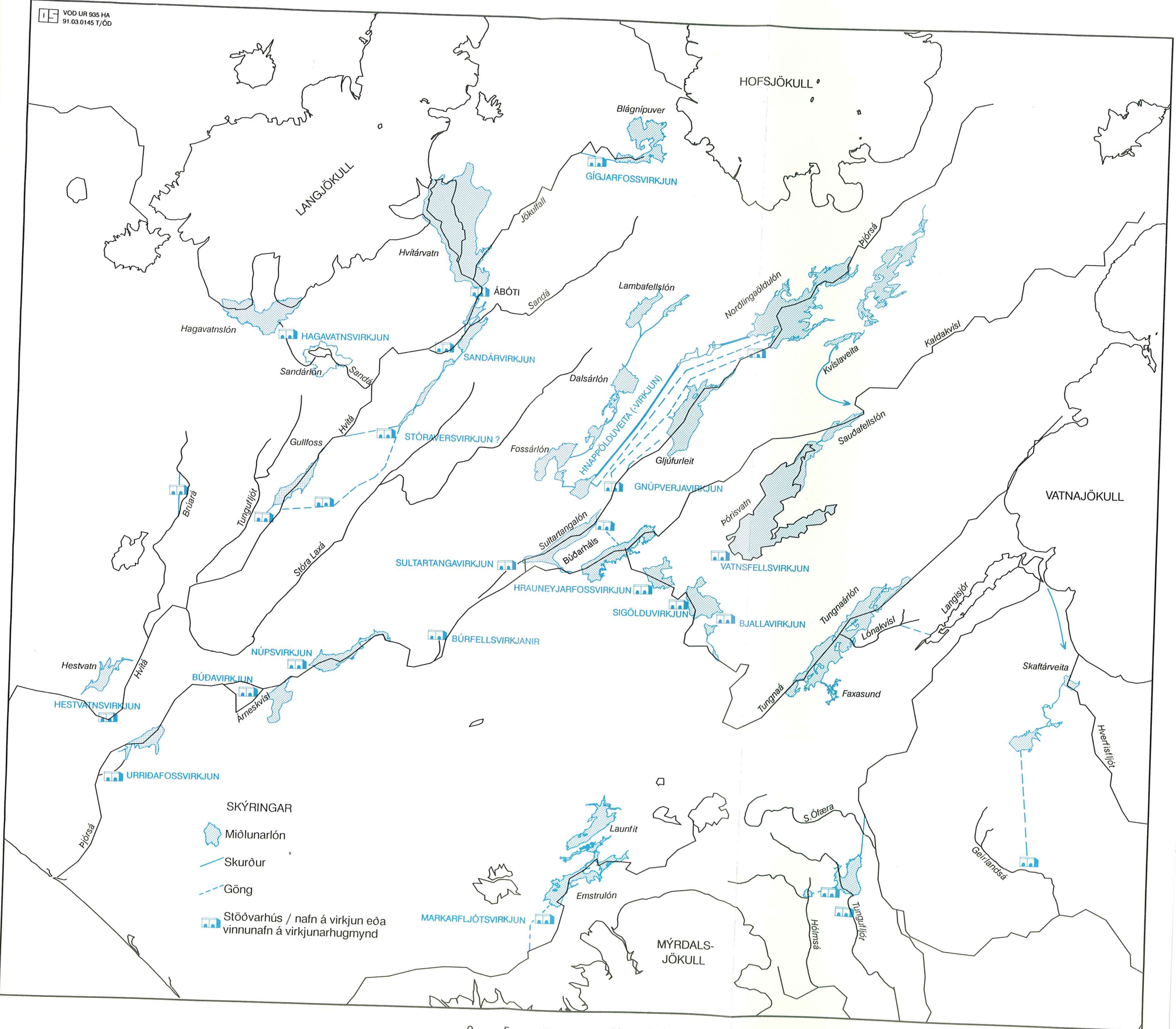
- Í Jökulsá á Fjöllum og Jökulsá á Dal er nálægt þriðjungur af enn ónýttri hagkvæmri vatnsorku landsins. Um nýtingu hennar hafa verið gerðar áætlanir, bæði varðandi einstakar virkjanir og heildaráætlanir um virkjunarleiðir. Á þessu svæði er um flókin umhverfismál að ræða; Jökulsárgljúfur og Dettifoss, hreindýraslóðir og gróðurlendi með verndargildi að mati Náttúruverndarráðs og hugsanlega strandrof svo að það helsta sé nefnt. Brýnt er að þarna verði fundnar ásættanlegar virkjunarleiðir, og er stefnt að því fyrir 1995. Ef til þess kemur að hagkvæmt verði talið að tengjast raforkumarkaði Evrópu, liggja virkjanir á þessu svæði vel við og yrðu af hentugri stærð. Stærð virkjunaráfanga yrðu einnig hentugar stórum orkufrekum fyrirtækjum á borð við álver.
- Í Hvítá í Árnassýslu eru umhverfismál flókin, líkt og við jökulárnar á NA-landi; Gullfoss, Hvítárnes og Brúarhlöð. Uppi eru raddir um að áin með vatnasvæði hennar verði friðlýst. Mat Orkustofnunar er, að áður en til svo víðtækrar friðlýsingar komi, liggja fyrir mat á því hvaða hagsmunir eru í húfi. Það þarf því að endurskoða forathuganir á mismunandi virkjunarleiðum í Hvítá.
- Mikil vatnsorka er í svonefndum Síðuvötnum, þ.e. vötnum milli Mýrdalsjökuls og suðvestanverðs Vatnajökuls. Um þær eru engar áreiðanlegar áætlanir til, en nýtanleg rennslisorka er þar metin á um 8000 GWh á ári (mynd 2). Þar hefur verið unnið að styrkingu vatnamælinga og landmælingum, en þar vantar enn mikið af nákvæmum landakortum, jarðfræðirannsóknir eru á byrjunarstigi og þar á eftir að meta umhverfisáhrif af mögulegum virkjunarleiðum.
- Önnur helstu virkjunarsvæði, sem áætlunin nær til eru Markarfljót, en þar er ætlunin að endurskoða forathugun frá 1986 í ljósi bættra rennslisgagna. Í Efri hluta Skjálfandafljóts eru virkjunarmöguleikar, sem eru ókannaðir að mestu. Þar þarf að mæla fyrir nákvæmum kortum og koma upp vatnshæðarmælistöðvum. Virkjanir á þessu svæði koma til með að liggja sérlega vel við framtíðar raforkuflutningslínunum milli Austur-, Norður- og Suðurlands.

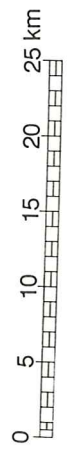
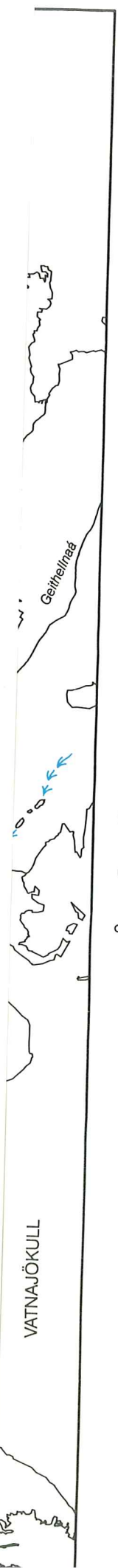
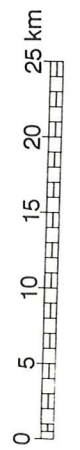
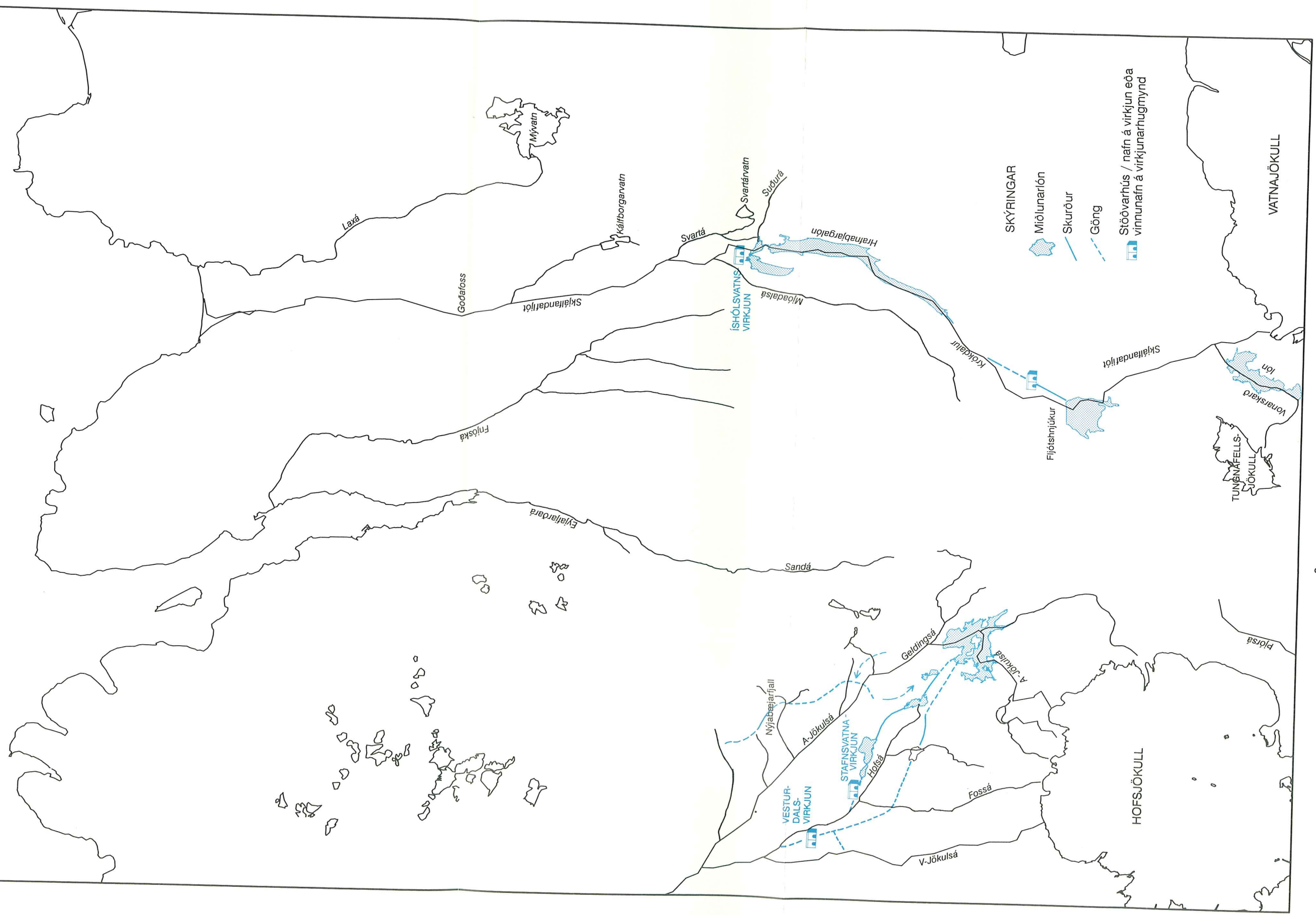
8. Lokaorð

Að lokum er rétt að áréttu enn einu sinni hvers eðlis vatnsorkuauðlindin er. Hún endurnýjast frá orku sólar, og við nýtingu er ekki gengið á hluta afkomenda okkar. Núverandi verð á orku til orkufreks iðnaðar er um 1 kr/kWh, og auðvirkjanleg orka ætti miðað við það að geta gefið 30-40 milljarða í árstekjur, sem er mun meira en sjávarútvegur gefur nú. Fyrstu 20-40 árin fara tekjur orkuveranna í að greiða vexti og afborganir af lánum en eftir það renna tekjurnar óskiptar í vasa eigendanna. Allur innlendur kostnaður af byggingu virkjananna og þjónusta við þær skilar sér beint í þjóðarbúið.

MYNDIR 4-6:

Helstu leiðir til að virkja "hagkvæma" vatnsorku á Íslandi. Á myndunum eru öll miðlunarlón, sem gætu komið til greina við virkjun, en það er víða háð endanlegri tilhögun virkjunar hvert yrði fyrir valinu. Þetta á aðallega við um Jökulsárnar á NA-landi, Efri-Hvítá og Efri-Þjórsá.





SKÝRINGAR



Miðlunarlón



Skurður



Göng



Göng?

Stöðvarhús / nafn á virkjun eða
vinnunafn á virkjunarhugmynd



HÓLSFJALLAVIRKJUN



Hólsfjallalón

LAMBAFJALLAVIRKJUN



LAGARFÖSSVIRKJUN II



FJARÐARVIRKJUN



Seyðisfjörður

BRÚARVIRKJUN



FLJÓTSDALSVIRKJUN



HRAUNAVIRKJUN



BERUFJARÐARVIRKJUN



Óðjavötn



Líkanvötn



FJARÐARVIRKJUN



Seyðisfjörður



Berufjarður



Hyammög



Geitthelmsá



PRÁNDAR-
JÖKULL



Saudarlón



Sauðarveita



Eybakkalón



SNÆFELL



VATNAJÖKULL



Jökulsá á Fjöllum



Kreppa



Fagradals-
lón



Arnarlón



Mitlidalón



Prímyngslón



Fiskidalur



Laugavalladalur



Háslón



Jökulsá á Elfsdal



Kelduá



Jökulsá á Dal



Lagarfljót



Grimsá



0 5 10 15 20 25 km

