

ORKUSTOFNUN

# Ársfundur Orkustofnunar 1990

Dagskrá, ávarp og erindi

Reykjavík

30. mars 1990

# ÁRSFUNDUR ORKUSTOFNUNAR 1990

Haldinn föstudaginn 30 mars kl 13:30 í Ársal Hótel Sögu

## DAGSKRÁ:

- 13:30 *Setning og ávarp Iðnaðarráðherra.*
- 13:45 *Starfsemi Orkustofnunar og viðhorf í orkumálum:* Jakob Björnsson orkumálastjóri.
- 14:30 Kaffihlé.
- 15:00 Frásagnir af völdum verkefnum; fyrirspurnir í lok hvers erindis.
- 15:00 *Olíuleit á Jan Mayen-hrygg:* Karl Gunnarsson.
- 15:30 *Langtíma breytingar á vatnafari og tengsl þess við veðurfar:* Árni Snorrason.
- 16:00 *Áhrif jarðganga á virkjun vatnsorku á Íslandi:* Birgir Jónsson.
- 16:30 Fundarslit: Sigpór Jóhannesson, formaður stjórnar Orkustofnunar.
- 16:40 Yfirlitssýning á jarðfræðikortagerð Orkustofnunar og niðurstöðum rannsókna á Nesjavöllum fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.  
Léttar veitingar.
- 17:40 Dagskrárlök.

Fundarstjóri: Jón Ingimarsson, forstjóri Orkubúskapardeildar.

# STARFSEMI ORKUSTOFNUNAR 1989 OG NOKKUR NÝ VIÐHORF Í ORKUMÁLUM

Erindi á ársfundi Orkustofnunar 30. mars 1990  
Jakob Björnsson, orkumálastjóri

## 1. Inngangur

Ég mun í mínu erindi ræða um starfsemi Orkustofnunar á liðnu ári og í næstu framtíð, og víkja að auki að viðhorfum í orkumálum almennt sem nú eru mjög til umræðu víða um lönd. Á eftir mér mun Karl Gunnarsson sérfræðingur á Jarðhitadeild, greina frá olíuleit á Jan Mayen hryggnum sem Íslendingar og Norðmenn hafa unnið að sameiginlega. Þótt vatnsorka okkar og jarðhiti séu mikilvæg megum við ekki gleyma að fleiri orkulindir kunna að leynast á íslensku yfirráðasvæði. Þar á eftir mun Árni Snorrason, forstöðumaður Vatnamælinga, ræða um langtímabreytingar á vatnafari og tengsl þeirra við veðurfar. Þetta efni er í hæsta máta ofarlega á baugi nú því það varðar spurninguna um hvernig fer með vatnsorku okkar ef loftslagsbreytingar verða af mannavöldum eins og margir óttast nú og ég mun víkja að síðar. Loks mun Birgir Jónsson, deildarstjóri ræða um áhrif jarðganga á virkjun vatnsorku á Íslandi. Þetta er líka brýnt efni nú. Lengi höfum við hér á landi verið hræddir við jarðgöng, að ég held vegna þess að við höfðum lengi vel ekki vald á þeirri tækni sem þar á við. Á því er nú að verða breyting sem getur haft róttæk áhrif á hvernig við stöndum að virkjun vatnsaflsins í framtíðinni.

## 2. Orkustofnun 1989

### 2.1 Vatnsorka

Vatnamælingar Orkustofnunar eru nú komnar nokkurnveginn í það horf sem stefnt hefur verið að í nokkur ár. Gengið hefur verið frá samningum um samstarf við helstu orkufyrirtækin í landinu um þátt þeirra í vatnamælingastarfseminni, þar á meðal um kostnaðarhlutdeild. Verið er að kanna samstarf við ýmsa utan orkugeirans um vatnamælingar.

Rennslismælingar vatna voru með meira móti á árinu og allmargir vatnshæðarmælar voru settir upp og eldri lagfærðir og endurnýjaðir. Afkomumælingum á Hofsjökli var haldið áfram til að kanna samhengi jökulbúskaparins þar við rennsli nálægra fallvatna. Byrjað var að skoða nokkrar langar rennslisráðir hér á landi og samhengi þeirra við veðurfarsveiflur með það fyrir augum að nota þá vitneskju til að meta áhrifin á vatnsrennsli í íslenskum ám af loftslagsbreytingum af mannavöldum.

Fram var haldið jarðfræðikortlagningu á Þjórsár-Tungnaársvæðinu sem nú hefur staðið í nokkur ár og vænst er að ljúki 1991.

Rannsóknir einstakra virkjunarstaða voru áfram í hægagangi vegna óvissu um markaðshorfur fyrir raforku. Nú þegar líkur eru á stórauðinni raforkuþörf er brýnt að hraða þessum rannsóknum þar eð flestir eða allir þeir virkjunarstaðir sem þegar hafa verið vel rannsakaðir munu verða nýttir á næstu árum ef hér verður reist nýtt álver.

## 2.2 Jarðhiti

Fram var haldið rannsóknum er miða að því að auka þekkingu okkar á eðli jarðhitaforðans og hegðun jarðhitasvæða í langvarandi vinnslu. Mikilvæg forsenda þeirra rannsókna er nákvæm vitneskja um vinnsluhætti hitaveitna, magn vatnsins sem dælt er úr jörðu, breytingar á þrýstingi og vatnsborðshæð og efnasamsetningu vatnsins. Þessara gagna afla starfandi hitaveitur fyrst og fremst í eigin þágu. Orkustofnun hefur að undanfögnu, í samvinnu við Háskóla Íslands og Samband íslenskra hitaveitna, unnið að fræðsluáttaki fyrir hitaveitumenn um mikilvægi þessa svonefnda vinnslueftirlits og um leiðir til að nýta jarðhitaforðann betur. Það áttak er þegar farið að skila árangri hjá ýmsum hitaveitum sem átt hafa í erfiðleikum með vatnsbúskap sinn.

Þessu tengd er könnun sem unnið var að á árinu, í samvinnu við Iðnaðarráðuneytið og Samband íslenskra hitaveitna, á orkunýtingu hjá fimmtán hitaveitum hér á landi, þar á meðal öllum hinum stærstu. Þetta er úrtaksrannsókn sem miðar að því að afla betri vitneskju um raunverulega orkunotkun til húshitunar hjá íslenskum hitaveitum og skapa betri grundvöll undir samanburð á kostnaði orku til hitunar húsa. Slíkur samanburður, misjafnlega vel undirbyggður, er eins og allir vita mjög áberandi hér á landi.

Á árinu keypti Orkustofnun, með tilstyrks Vísindasjóðs, ný tæki til viðnámsmælinga með annari aðferð en mest hefur verið notuð til þessa sem gerir þessar mælingar auðveldari og ódýrari. Sérstakur hugbúnaður til úrvinnslu mælinga með þessari nýju aðferð var þróaður á Jarðhitadeild. Jafnframt var unnið að því að auka dýptarskyn viðnámsmælinga, bæði með þessari nýju aðferð og öðrum.

Fram var haldið vinnu við að koma á fót tölvuvæddu gagnavörslukerfi fyrir jarðhitagögn.

Jarðhitaskólinn starfaði með svipuðu sniði og áður. Átta nemendur frá sjö löndum sóttu hann. Íslenska ríkið kostaði skólann að 80 % en 20 % kostnaðarins voru greidd af Háskóla Sameinuðu þjóðanna í Tókíó. Ég hygg að Jarðhitaskólinn sé meðal bestu finnanlegu dæma um árangursríka þróunaraðstoð. Vilji íslenska ríkið efla þróunaraðstoð sína, eins og oft er um rætt, gerist það varla á árangursríkari en með því að efla enn Jarðhitaskólann svo að hann geti tekið við fleirum.

Á árinu störfuðu jarðhitasérfræðingar frá Orkustofnun fyrir Virki-Orkint h.f. að jarðhitaverkefnum í Djibouti og Grikklandi.

## 2.3 Orkubúskapur

Söfnun og úrvinnsla gagna um íslensk orkumál var með svipuðum hætti á árinu og áður. Í tilfni af 14. þingi Alþjóðlega orkumálaráðsins í Montreal í september, sem ég mun víkja að síðar, var gefið út yfirlit yfir íslensk orkumál 1988 undir nafninu "National Energy Data Profile Iceland" sem dreift var meðal landsnefnda þeirra sem aðild eiga að ráðinu.

Fyrir Orkusparnefnd var unnið að nýjum spám um raforkunotkun og um orkunotkun til húshitunar sem vænst er að komi út á yfirstandandi ári.

Fram fóru samanburðarathuganir á leiðum til að mæta raforkuþörf þjóðarinnar næstu áratugi bæði með nýju álveri með mismunandi afkastagetu og án þess. Þær fóru fram í náinni samvinnu við Landsvirkjun.

Á árinu réð Orkubúskapardeild Hagfræðistofnun Háskóla Íslands til að vinna að athugun á samnýtingu og samhæfingu orkugjafa til hitunar og raforkuvinnslu.

Orkustofnun fékk Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins og Sölumiðstöð hraðfrystihúsanna til að mæla raforku til einstakra tækja og tækjahópa í frystihúsi með fremur lélega nýtingu á

afltoppi. Þetta var gert í framhaldi af athugun 1988 í frystihúsi með meðalgóða nýtingu toppsins sem þessir þrír aðilar stóðu sameiginlega að og styrkt var af Norrænu ráðherranefndinni. Sú athugun leiddi í ljós að það frystihús gat sparað um 20 % af raforkukostnaði sínum með svo til einni saman betri stýringu á notkuninni. Í framhaldi af þessu verkefni stendur til að gefa út bækling um hagkvæma raforkunotkun í frystihúsum. Í ljósi umræðna um mikinn raforkukostnað frystiðnaðarins og niðurgreiðslur á honum af almannaþé skiptir það vitanlega sköpum að koma í veg fyrir óþörf raforkuútgjöld þessa atvinnuvegar og að ekki sé verið að greiða niður orku sem engin þörf er fyrir.

## 2.4 Fiskeldi

Enn var fram haldið rannsóknum á náttúrulegum skilyrðum til fiskeldis víðsvegar um land fyrir sérstaka fjárveitingu frá Alþingi í því skyni. Þetta var fjórða árið sem Orkustofnun vinnur að þessu verkefni, en hér er um að ræða könnun á nýjum nýtingarmöguleikum jarðhitans. Standa vonir til að því ljúki á þessu ári. Þessum rannsóknum er ætlað að renna traustari stöðum en hingað til undir fiskeldi sem atvinnugrein varðandi þær auðlindir sem hún byggir á. Er vonast til að með þeim megi framvegis sneiða hjá ýmsum örðugleikum og mistökum sem hrjáðu þessa nýju atvinnugrein í upphafi og eiga sinn þátt í núverandi örðugleikum hennar. Vonandi eru þar bjartari tímar framundan.

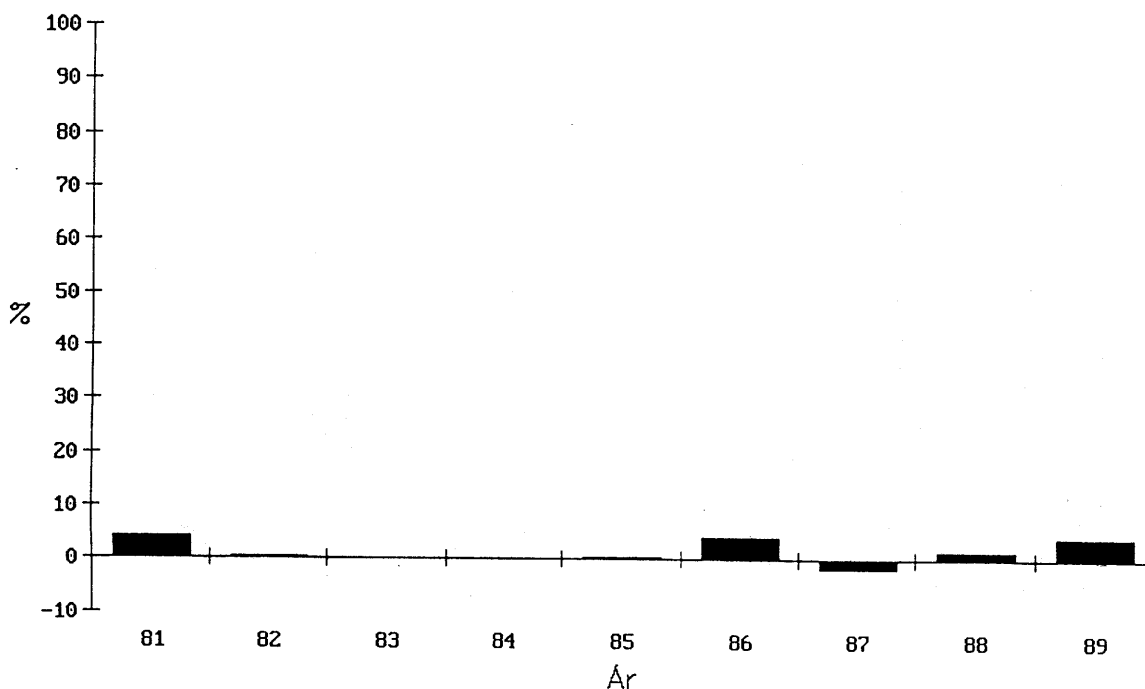
Á árinu 1989 voru skilyrði til fiskeldis í ferskvatni könnuð í Hvalfirði, Borgarfirði, í Hnappadal, Sælingsdal í Dölum, Hrísey, í Aðaldal í S. Þing. og í innanverðum Jökuldal, Hrafnkelsdal og í Brúardölum. Kannaðir voru möguleikar á að ná í jarðsjó úr borholum til frameldis á suðurströndinni frá Meðallandi vestur að Markarfljóti, í Flóa og á suðurströnd Reykjaneskagans.

## 2.5 Fjármál

Útgjöld Orkustofnunar á árinu 1989 námu alls tæpum 297 milljónum króna, en tæpum 273 milljónum árið 1988. Að raunvirði lækkuðu útgjöldin um 13 % milli þessara ára. Fjárveitingar 1989 námu 200,9 milljónum króna en rúmri 191 milljón 1988, og lækkuðu þær að raunvirði um 14,2 % frá fyrra ári. Sértekjur fyrir selda þjónustu námu 101,8 milljónum króna 1989, en 92,5 milljónum 1988. Þær lækkuðu að raunvirði um 10,4 % milli ára. Það verður að telja áhyggjuefni ef fjárveitingar til rannsókna á orkulindunum halda áfram að dragast saman að raunvirði jafnhliða því sem framundan eru stóratök í nýtingu þeirra. Um fjármálin er nánar fjallað í nýrri ársskýrslu stofnunarinnar sem þið hafið fengið í hendur.

Eins og undanfarin ár var snemma á árinu gerð ítarleg áætlun um það, að hvaða verkefnum skyldi unnið á árinu og hvað hvert um sig myndi kosta. Sú áætlun var síðan endurskoðuð þegar leið á árið. Jafnframt var eins og áður beitt ströngu aðhaldi í útgjöldum stofnunarinnar og þess gætt að þau færu ekki fram úr áætlun. Sú viðleitni bar árangur. Höfuðstóll í árslok var jákvæður um 4,6 % af tekjum, en var jákvæður um 2,4 % af tekjum árið 1988. Þess ber þó að geta að hluti þessa höfuðstóls er þegar skuldbundið fé sem stafar af því að vegna aðhaldsins að útgjöldum voru sum tækjakaup dregin svo langt fram eftir árinu að þau voru enn ekki greidd þegar bókhaldi ársins var lokað.

1. mynd sýnir höfuðstól Orkustofnunar í hlutfalli við tekjur hvers árs árin 1981 til 1989. Ég tel að þessi mynd sýni að stofnuninni hafi tekist vel í þessu efni. Stundum heyrir í opinberri umræðu nú á dögum að ríkisstofnanir hirði lítt um fyrirmæli Alþingis í fjárlögum en sigli sinn sjó að vild og sendi fjárveitingavaldinu reikninginn á eftir. Það á ekki við um Orkustofnun eins og myndin sýnir ljóslega.



1. mynd. Höfuðstóll Orkustofnunar í hlutfalli af tekjum.

### 3. Viðhorf í orkumálum

Á síðasta ársfundi fór ég nokkrum orðum um óvissu og síbreytileg viðhorf í orkumálum um allan heim; þar á meðal um snögg umskipti, svonefnd "umskipti í viðmiðum" sem víða hefur gætt, og nefndi dæmi um þau, einnig héðan frá Íslandi. Hér vil ég þessu til viðbótar nefna tvö dæmi um ný viðhorf: Í fyrsta lagi áhyggjur manna af mengun og stórfelldum loftslagsbreytingum af völdum vinnslu og notkunar orku og í öðru lagi ný viðhorf sem nú eru mjög til umræðu varðandi verslun með raforku.

#### 3.1 Orka og gróðurhúsaáhrif

Í september á síðasta ári var haldið í Montreal í Kanada 14. þing Alþjóðlega orkumálaráðsins, sem er víðfeðmustu fjölþjóðasamtök á orkusviðinu sem til eru. Þau spanna allar tegundir orku og ná til 87 landa í vestri og austri, norðri og suðri. Svona þing hefur ráðið haldið á þriggja ára fresti nú um langt skeið. Á mörgum undanförunum þingum hefur höfuðáherslan verið á málum eins og tiltækum orkulindum til frambúðar, þróun orkuverðs, sérstaklega olíuverðs, orkumálum þróunarlanda o.fl. Þessi efni voru einnig rædd á þinginu í Montreal, en höfuðáherslan var þó að þessu sinni á umhverfisáhrifum orkuvinnslu og orkunotkunar; mengun, en þó sérstaklega hitnun andrúmsloftsins af völdum svonefndra gróðurhúsaáhrifa.

Lofteggundir þær sem mynda andrúmsloftið draga úr útgeislun frá jörðinni og gera hana með því byggilega. Meðalhitastig við yfirborð jarðar er um 15 stig á Celsíus, en væri -15 ef gróðurhúsaáhrifa andrúmsloftsins nyti ekki við. Þau eru þannig síður en svo af hinu illa í sjálfu sér. En allir vita að of heitt getur stundum orðið í gróðurhúsi og það er einmitt það sem margir óttast að geti orðið á jörðinni ef of mikið safnast í andrúmsloftið af loftteggundum sem draga úr útgeislun frá jörðu; svonefndum gróðurhúsaáhrifum. Mikilvægast þeirra er koltvísýringur eða "kolsýra" sem við köllum í daglegu tali, og myndast m.a. við brennslu eldsneytis, en einnig af

mörgum öðrum orsökum. Gróðurhúsaáhrif þau sem menn óttast stafa þannig aðeins að hluta til frá vinnslu og notkun orku þótt hún sé mikilvægur þáttur í þeim. Annar veigamikill þáttur er eyðing skóga, einkum regnskóganna í hitabeltinu.

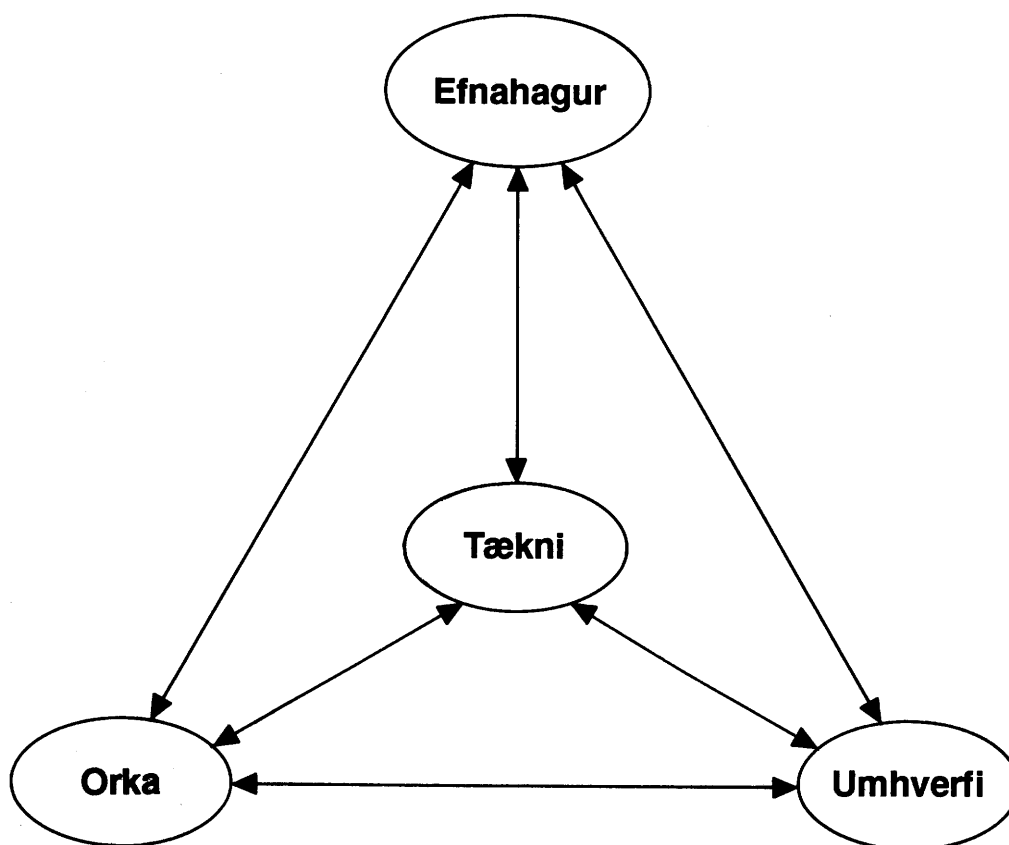
Margt er enn á huldu um þessi gróðurhúsaáhrif og vísindamenn eru hvergi nærri á eitt sáttir um þau. Þekking okkar á andrúmsloftinu og lögmálum þess og á efnaskiptum milli lofts, sjávar og gróðurþekju jarðar, er enn í allt of miklum molum til þess að unt sé að segja nákvæmlega fyrir um áhrifin af vaxandi koltvísýringi og öðrum gróðurhúsagösnum í andrúmsloftinu. Um það eru flestir sammála, en menn eru einnig sammála um að áhrifin geti verið það uggvænleg að full ástæða sé til að taka málið alvarlega og leita að leiðum til úrbóta. En þar með lýkur því sem menn eru sammála um. Sumir telja vænlegast að byrja á því að bæta verulega þekkingu okkar á andrúmsloftinu og telja það raunar algera forsendu fyrir öllum skynsamlegum viðbrögðum við vandanum. Aðrir vilja hefja aðgerðir strax, telja að ekki sé tími til að bíða eftir betri þekkingu. En hvaða aðgerðir? Þ Margháttað mengun fylgir einnig brennslu eldsneytis frá brennisteins- og köfnunarefnissamböndum sem hafa "súrt regn" í för með sér, en það er víða orðið mikið vandamál þótt annarsstaðar valdi það litlum skaða. Fer það ekki síst eftir efnasamsetningu jarðvegsins hvort skaðinn er meiri eða minni.

Mál þessi eru öll afarflókin og mjög viðkvæm. Mengunarinnar gætir oft í öðru landi en því sem nýtur orkunnar sem var upphaf hennar. Mjög náíð samhengi sýnir sig að vera milli orku-notkunar og efnahagsþróunar. Eigi þróunarlöndin að ná sér á strik efnahagslega mun orkunotkun þeirra óhjákvæmilega margfaldast, jafnvel þótt þau feti ekki að öllu leyti slóð iðnríkjanna í efnahagsþróun sinni. Einnig í iðnríkjunum getur takmarkaður aðgangur að orku, eða dýrari orka, haft alvarlegar efnahagslegar afleiðingar eins og nýlegar olíukreppur sönnuðu áþreifanlega.

Meginniðurstöðuna af umfjöllun 14. þings Alþjóðlega orkumálaráðsins um þetta má telja þá, að framvegis verði að skoða þann vanda sem kenna má við orku, umhverfi og efnahag sem eitt "þrívítt" vandamál fremur en þrjú aðgreind, eins og tilhneiging hefur verið til að gera. Menn verði að temja sér heildarsýn, kerfissýn, því að þetta þrennt, orka, umhverfi og efnahagur, verkar hvert á annað og mynda í sameiningu heildarkerfi. Þetta er reynt að gefa til kynna myndrænt á 2. mynd. Lengi einskorðuðu menn sig við ásinn orka - efnahagur en gleymdu þriðja hornpunktinum, umhverfinu. Á síðari árum hefur sumsstaðar gætt tilhneigingar til að halda sig við ásinn orka - umhverfi en gleyma efnahagnum. Hvorugt er vænlegt til árangurs. Við getum ekki verið án orku, en heldur ekki án góðs efnahags eða heilnæms umhverfis. Góður efnahagur er forsenda heilnæms umhverfis. Hinn fátæki hirðir ekki um umhverfið. Við Íslendingar eyddum skógunum meðan við vorum fátækir. Hið sama gera margar fátækar þjóðir þriðja heimsins í dag, þar sem stór landflæmi breytast árlega í eyðimerkur vegna skógarhöggs til eldiviðar. Eldiviðar sem þetta fólk síðan brennir með um 15 % nýtni en 85 % orkunnar í viðnum fer út í buskann. Það er langt frá því að allur umhverfisvandinn í dag stafi af græðgi hinna ríku. Hann stafar líka af eymd hinna fátæku.

Vandinn sem leysa þarf er í því fölginn að finna jafnvægi milli orku, efnahags og umhverfis sem tryggt getur öllum jarðarbúum farsæld til frambúðar. Það er ekki og verður ekki auðleyst viðfangsefni. Aðra meginniðurstöðu 14. þingsins má einmitt telja þá að það er barnaskapur að ímynda sér að finna megi einfalda lausn á svona flóknu viðfangsefni.

Verulegra tilhneinginga gætir þó til þess og enginn skortur er á hugmyndum um patentlausnir. Þannig halda sumir að bætt orkunýting geti verið allsherjarlausn. Þeir sem þannig hugsa eru fastir við ásinn orka - umhverfi hér á myndinni og gleyma því hvaða áhrif hin bættu orkunýting hefur á efnahaginn. Vissulega mun bætt orkunýting verða hluti af lausninni, en ekki lausnin öll. Margt fleira þarf að koma til. Einmitt í því er heildarsýnin fölginn að gera sér grein fyrir þessu. Lausnin verður margslungin og flókin. Með því hugarfari verður að nálgast viðfangs-



2. mynd. Frívíð túlkun á innbyrðis tengslum orkumála við efnahag, umhverfi og tækniþróun.

efnið.

Hér má ekki gleyma því að gróðurhúsaáhrifin þekkja engin landamæri. Vandinn er alþjóðlegur, og aðgerðir einstakra ríkja út af fyrir sig, einkum hinna minni, duga skammt þótt gerðar séu í góðri meiningu. Reyna mun á alþjóðlega samvinnu sem aldrei fyrr. Hún mun fela margt í sér. Eitt gæti verið það að velja raforkufrekum iðnaði stað þar í veröldinni sem framleiða má raforkuna án gróðurhúsaáhrifa eins og í löndum sem auðug eru af vatnsorku og jarðvarma.

Okkur Íslendingum finnst stundum að öll þessi umræða um mengunarvanda í tengslum við notkun og vinnslu orku sé okkur býsna framandi; komi okkur í rauninni lítið við. Notum við ekki hreinar og mengunarlausar orkulindir?.

Að stórum hluta gerum við það, en ekki að öllu leyti. Eldsneyti sér fyrir þriðjung af frumorkuþörfum okkar. Vegna fámennis, strjálbýlis og legu landsins gætir lítið hér á landi margra þeirra mengunaráhrifa frá brennslu eldsneytis sem plaga ýmsar nágrannaþjóðir okkar. Súrt regn er ekki vandamál hér, og mengum frá bílum er hér alltaf lítil í samanburði við það sem gerist í milljónaborgum erlendis, jafnvel í miðborg Reykjavíkur á góðviðrisdögum. Öll okkar raforkuvinnsla og meginíð af vinnslu orku til að hita húsrými er laus við mengunaráhrif; svo er vatnsafli okkar og jarðhita fyrir að þakka. En þrátt fyrir þetta er rétt að við höfum gætur á hegðan okkar. Allri brennslu eldsneytis fylgir óhjákvæmilega koltvísýringur. Koltvísýringur frá okkur Íslendingum safnast fyrir í andrúmsloftinu og bætist við það sem kemur frá öðrum. Andrúmsloft jarðar er aðeins eitt.



TAFLA 1: Losun á koltvísýringi frá brennslu eldsneytis, reiknað á hvern íbúa í nokkrum löndum 1987.

Land	Tonn af CO <sub>2</sub> á íbúa á ári.
Bandaríkin	18,4
Kanada	15,5
Ástralía	14,7
Sovétríkin	13,5
Saudi-Arabía	13,2
Pólland	12,4
Vestur-Þýskaland	10,9
<b>Ísland</b>	10,3
Bretland	10,0
Noregur	8,6
Japan	7,8
Ítalía	6,5
Frakkland	6,2
Suður-Kórea	4,2
Mexícó	3,5
Kína	2,1
Egyptaland	1,5
Brasilía	1,4
Indland	0,7
Indónesía	0,6
Nígería	0,1
Zaire	0,1
Heimurinn í heild	4,0

Heimildir    Ísland : Unnið á Orkustofnun  
Noregur : Byggt á SIMEN, Oslo 1989  
Önnur lönd : State of the World 1990. Worldwatch Institute Norden

TAFLA 2: Losun koltvísýrings frá brennslu eldsneytis., reiknað á hvern US\$ í vergri landsframleiðslu í nokkrum löndum 1987.

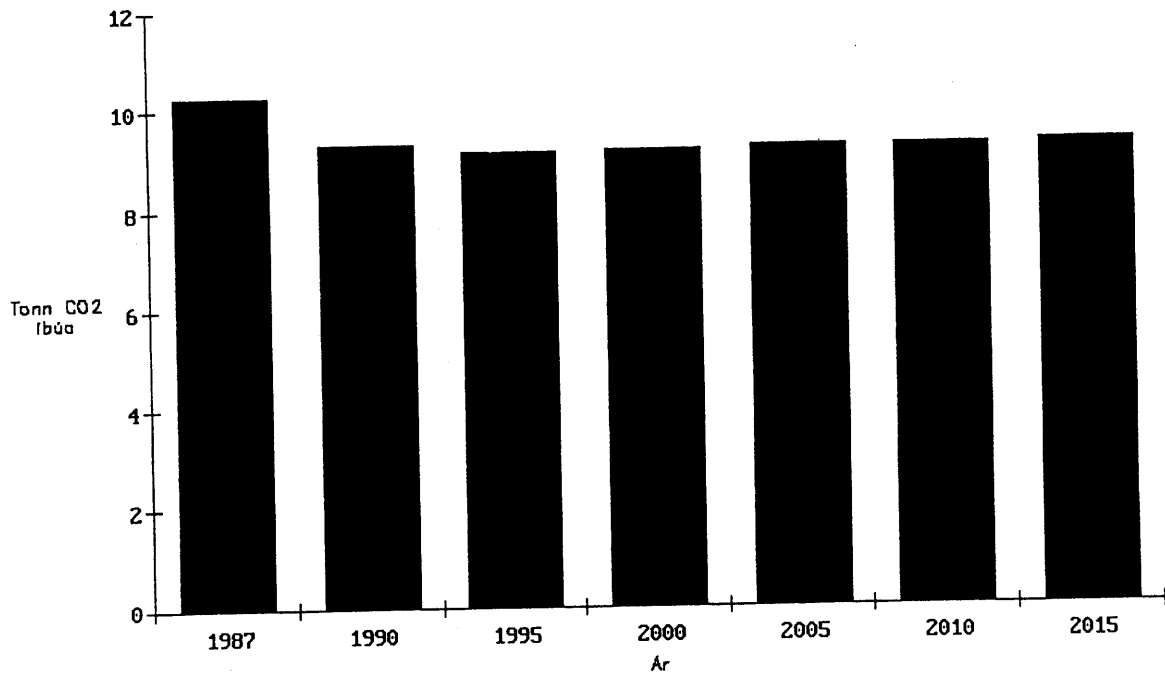
Land	Grömm af CO <sub>2</sub> á USD <sub>1987</sub>
Kína	7421
Egyptaland	2937
Indland	2402
Mexícó	2233
Saudi-Arabía	2072
Pólland	1804
Sovétríkin	1599
Indónesía	1478
Suður-Kórea	1371
Nígería	1316
Ástralía	1173
Bandaríkin	1012
Kanada	906
Bretland	821
Vestur-Þýskaland	818
Zaire	671
<b>Ísland</b>	653
Brasilía	623
Japan	572
Ítalía	539
Frakkland	488
Noregur	435

Heimildir    Ísland : Unnið á Orkustofnun  
Noregur : Byggt á SIMEN, Oslo 1989  
Önnur lönd : State of the World 1990. Worldwatch Institute Norden

Í töflu 1 er sýnd losun á koltvísýringi á hvern íbúa á ári í ýmsum löndum frá brennslu eldsneytis. Eins og sjá má komumst við Íslendingar þar vel á blað, þrátt fyrir að við fullnægjum aðeins þriðjungji af frumorkuþörfum okkar með brennslu eldsneytis. Hvað veldur? Það er einkum þrennt :

- Mikil og almenn bílaeign.
- Stór fiskveiðiflota í hlutfalli við íbúafjöldann og mikil vélvæðing hans.
- Mikil þörf fyrir samgöngur í hlutfalli við íbúafjöldann vegna strjálbýlis og legu landsins.

Eins og við sjáum á töflu 1 eru það iðnríkin sem losa mest af koltvísýringi út í andrúmsloftið, á hvern íbúa reiknað. Það kemur ekki á óvart og er auðskilið. Eldsneytisnotkun stendur að verulegu leyti undir velmegun þeirra. Fróðlegt er að skoða hve mikinn koltvísýring einstök lönd losa á hverja einingu í vergri landsframleiðslu. Það er sýnt í töflu 2. Þar er röðin öll önnur en í fyrri töflunni. Nú er Kína langefst, en helstu þróunarlönd önnur fylgja á eftir. Iðnríkin eru neðst.



*3. mynd. Yfirlit yfir losun koltvísýrings vegna orkubúskapar íslendinga.*

Hvað með framtíðina í þessu efni að því er okkur Íslendinga varðar ? Á 3. mynd hefur eldsneytisspá Orkuspárnefndar verið notuð til að reikna losun á koltvísýringi á mann frá íslenskum þjóðarbúskap fram til 2015. Samkvæmt myndinni mun losun okkar á hvern íbúa lækka um nálægt 10 % fram til 2015. Inn í eldsneytisspána hefur þegar verið reiknuð sú bættu eldsneytisnýting, sem menn þykjast geta séð fyrir í dag. Það má fullyrða að eins og nú horfir verður það okkur mjög örðugt að draga öllu meira en þetta úr losun okkar á koltvísýringi næstu áratuginna. Það þurfa stjórnámamenn okkar að hafa í huga þegar um það er að ræða að undirrita alþjóðlegar yfirlýsingar um þessi mál.

### 3.2 Nýir viðskiptahættir með raforku

Ég kem þá að síðara dæminu um ný viðhorf í orkumálum sem ég ætla að minnst á í dag, nýjum háttum í viðskiptum með raforku.

Allt frá bernskudögum raforkuiðnaðarins hefur það tíðkast að hver rafveita hafi einkarétt til að selja rafmagn á sínu veitusvæði. Þetta hefur verið rökstutt með því að alltof dýrt sé að hafa fleiri en eitt raforkukerfi á sama svæði. Samkeppni, eins og tíðkast í öðrum viðskiptum, verði af þeim sökum ekki við komið. Rafveitur og raforkufyrirtæki yfirleitt, hvort heldur er í dreifingu eða vinnslu og flutningi, séu því "náttúruleg einkasölufyrirtæki". Gjaldskrár slíkra fyrirtækja eru víðast hvar háð samþykki yfirvalda sem þannig koma í stað samkeppninnar í það hlutverk að vernda notandann gegn óeðlilegum og ósanngjörnum viðskiptaháttum af hendi einkasölufyrirtækisins.

Að undanteknum örfáum mjög stórum notendum sem kaupa eftir sérsamningum hafa gjaldskrár gilt jafnt fyrir alla notendur raforku til sömu þarfa hvar sem þeir eru búsettir innan sama veitusvæðis. Sterk tilhneiging hefur víða verið til verðjöfnunar milli veitusvæða. Hér á landi selur Landsvirkjun í heildsölu á sama verði í öllum landsfjórðungum. Í sumum löndum, eins og Frakklandi, er sama verð til hins endanlega notanda hvar sem hann býr í landinu. Að frátöldum einstaka sértöxtum, svo sem sumartöxtum og næturtöxtum, hefur verðið líka verið hið sama á öllum tímum sólarhringsins og ársins.

Það hefur þannig verið litið á raforku sem eina tegund "vöru" sem ætti að seljast á sama verði til allra innan sama veitusvæðis - og að áliti talsmanna mikillar verðjöfnunar - helst til allra hvar sem þeir búa. Með fáum undantekningum hefur líka verið litið svo á að hún ætti að seljast á sama verði á öllum tímum.

Lengi hefur mönnum verið ljóst að það er mikil einföldun að líta á raforku sem aðeins eina tegund vöru. Raforka framleidd á mesta álagstíma á í rauninni fátt annað en nafnið sameiginlegt með raforku sem framleidd er milli kl. 4 og 5 að morgni, þegar álagið er í lágmarki. Vinnslukostnaðurinn er gjörólíkur á þessum tveimur tímum. Sama er að segja um raforku sem framleidd er um hásumar, þegar miðlunarlón eru full og vatn rennur framhjá mörgum stöðvum. Hún á fátt sameiginlegt, annað en nafnið, með raforku sem framleidd er í byrjun vors þegar mörg miðlunarlón eru að tæmast.

Sömuleiðis hefur lengi verið ljóst að raforka er ekki jafn verðmæt fyrir alla notendur á öllum tímum. Frystihús með fisk fyrir milljónatugi í frystigeymslum sínum má miklu síður við því að missa rafmagnið en t.d. heimilisnotandi. Að sjálfsögðu vill enginn missa rafmagnið, eða telur sig geta misst það. Fyrir kemur að rafmagn er skammtað. En þá er það skammtað til allra jafnt. Á það reynir aldrei hvað notandinn væri reiðubúinn til að greiða fyrir að fá að halda því ef þess væri kostur. Það myndi hins vegar endurspeglar hans eigið mat á því hvers virði rafmagnið er honum.

Loks hefur það lengi verið ljóst að með þeim viðskiptaháttum sem tíðkast hafa hefur fé verið flutt í stórum stíl frá sumum hópum notenda til annara hópa. Þeir sem betur liggja við orkuverum og aðveitustöðvum greiða gegnum verðjöfnunina í raun niður verðið til hinna sem ekki eru eins vel í sveit settir. Notandi sem aðallega tekur sína raforku utan mesta álagstíma greiðir á sama hátt verðið niður fyrir notanda á mesta álagstíma. Víða hér á landi greiða almennir heimilisnotendur niður verðið til þeirra sem hita hús sín með rafmagni, vegna ríkjandi viðleitni til að halda hitunartöxtum niðri.

Í raforkuviðskiptum hefur verðið þannig að hluta til verið afvirkjað, ef svo má að orði komast, sem stýritæki á notkunina borið saman við það sem gerist um vörur almennt. Þetta er alþjóðlegt fyrirbæri en ekki séríslenskt, í mismunandi mæli þó eftir löndum. Það hefur víða um lönd

leitt til þess að sumum notendum finnst þeir vera í spennistreyju og leita í vaxandi mæli eftir að eiga fleiri kostnað um viðskipti sín. Þannig hafa sumir stórir iðnaðarnotendur tekið upp á því að framleiða raforku sína sjálfir í stað þess að kaupa hana af rafveitu. Sama hafa sumar dreifiveitur gert í stað þess að kaupa í heildsölu af stórframleiðanda.

Þau nýju viðhorf í raforkuviðskiptum sem ég gat um eru í því fólgin að virkja verðið í ríkara mæli en hingað til sem stýritæki á raforkunotkun; gefa markaðsöflunum meira svigrúm í raforkuviðskiptum og jafnvel að innleiða þar samkeppni að einhverju marki. Þessi viðhorf hafa leitt til tvennskonar hugmynda sem enn eru þó hvergi nærri fullmótaðar, og eru býsna nýstárlegar, a.m.k. hér á landi.

Önnur hugmyndin gengur út á að draga úr sölu á raforku eftir fastri gjaldskrá, en innfæra í þess stað skyndiverðlagningu eða staðverðlagningu (spot pricing) á hana. Verðið á hverri kílóvattstund yrði þá mismunandi eftir því hvort hún er notuð á mesta álagstíma, utan hans að deginum eða að nóttu til, og þar að auki mismunandi að sumri og vetri. Verðið gæti líka verið mismunandi eftir því hvort nýbúið er að virkja og raforka yfirfljótanleg, eða hvort komið er að nýrri virkjun og raforkuskortur jafnvel væntanlegur. Með þessu móti væri í verði raforkunnar tekið tillit til þess sem ég nefndi áðan, að raforka á mismunandi tímum og við mismunandi aðstæður í kerfinu ætti í rauninni fátt sameiginlegt annað en nafnið. Með staðverðlagningu á raforku er álagsstjórnin líka flutt úr höndum rafveitna, eða raforkuheildsala, yfir til notandans, með verðið sem stýrimerki.

Grundvallarforsenda þess að hugmyndin um staðverðlagningu geti verið framkvæmanleg er sú, að mjög greitt streymi upplýsinga sé stöðugt á milli rafveitu og einstakra notenda hennar. Fram undir þetta hefur tæknin ekki gert þesskonar upplýsingastreymi mögulegt. Það er hinsvegar óðum að breytast með framförum í fjarskipta- og upplýsingatækni. Það er sem sé fyrst nú og í framtíðinni að slík verðlagning á raforku er tæknilega framkvæmanleg.

Hin hugmyndin gengur út á að gefa notandanum kost á samkeppni, a.m.k. að vissu marki. Enn sem komið er nær þessi hugmynd aðeins til rafveitna sem kaupa í heildsölu og til stórra iðnaðarnotenda, svo og til framleiðenda á raforku. Rafveitur og stórir notendur gætu samkvæmt þessari hugmynd "boðið út" framleiðslu á tilteknu magni raforku, svo og svo mörgum GWh á ári. Framleiðendur myndu síðan senda tilboð. Í útboðslýsingu væru ákvæði um "gæðakröfur" sem seljandi yrði að uppfylla, svo sem varðandi stöðugleika á spennu og tíðni; afhendingaröryggi o.fl. Að auki myndu yfirvöld setja almenn skilyrði um tæknilega hæfni framleiðenda og gæðakröfur til búnaðar þeirra, um fjárhaglegan styrk þeirra o.s.frv., þannig að einungis "hæfir framleiðendur" samkvæmt slíkum kröfum mættu senda tilboð.

Frumskilyrði þess að þessi hugmynd geti verið raunhæf er það, að öllum "hæfum framleiðendum" sé heimill aðgangur að flutningskerfinu fyrir raforku og að vissu marki dreifikerfum einstakra rafveitna, gegn greiðslu flutningsgjalds sem yrði mismunandi eftir því hve langt er milli seljanda og kaupanda, eftir tíma sólarhrings og árstíma og jafnvel eftir ástandi flutningskerfisins. Hinsvegar yrði gjaldið hlutlaust að öðru leyti gagnvart kaupendum og seljendum. Flutningskerfið fyrir raforku yrði með öðrum orðum almannaflutningskerfi (common carrier), hliðstætt við gjaldskýlda vegi og brýr eða járnbrautir.

Báðar þessar hugmyndir eru enn á frumstigi umræðna erlendis og langt í land að þær komi almennt til framkvæmda. Þar eru mörg ljón í vegi, sum tæknileg, önnur af öðrum toga. En umræðan fer ört vaxandi og flest bendir til að tilraunir í þessa átt verði brátt gerðar víða um lönd. Takist þær vel er alls ekki ólíklegt að slíkar viðskiptaaðferðir breiðist fljótt út. Ég tel því að full ástæða sé til fyrir okkur Íslendinga að fylgjast vel með þróun þessara hugmynda, sem eru á mótunarskeiði og breytast því ört. Við skulum nýta það úr þeim sem okkur að athuguðu máli sýnist nýtílegt, en hinsvegar varast hér sem annarsstaðar að gleypa hráar lítt reyndar hugmyndir.

#### 4. Starfsemi Orkustofnunar í næstu framtíð

Á síðasta ársfundi ræddi ég nokkuð um starfsemi Orkustofnunar í ljósi þeirrar óvissu sem um alllangt skeið hefur ríkt í orkumálum. Lagði ég þar áherslu á þann almenna sannleik að óvissu þarf að mæta með sveigjanleika. Í rannsóknum þurfum við að búa okkur undir margskonar framtíð. Við þurfum að rannsaka stórar vatnsaflsvirkjanir sem henta bæði stóráttökum í raforkufrekum iðnaði í landinu og útflutningi á raforku, en líka minni vatnsaflsvirkjanir sem og jarðgufuvirkjanir sem stækka má eftir þörfum til að mæta hægum vexti almennrar notkunar milli slíkra átaka. Við þurfum að efla þekkingu okkar á viðbrögðum jarðhitasvæðanna við langvarandi vinnslu; bæta aðferðir til að meta orkuþörf í framtíðinni; gera okkur betur ljóst samhengi orkunotkunar og efnahags og kanna betur mögulega samnýtingu vatnsorku og jarðvarma.

Allar þessar ábendingar eiga við enn í dag. Þeim til viðbótar má nefna að vaxandi áhyggjur manna af gróðurhúsaáhrifunum munu örugglega leiða af sér þrýsting á öll iðnríki að draga úr losun sinni á koltvísýringi. Við getum ekki vænst þess að verða lausir við slíkan þrýsting. En það er aðeins hægt að gera með því að draga úr brennslu eldsneytis. Eigi það að gerast án þess að stefna efnahag okkar í voða verðum við að nýta eldsneytið betur. Rannsóknir á orkubúskap okkar og á möguleikum til bættrar olíunýtingar við íslenskar aðstæður eru því aðkallandi og er verkefni sem Orkustofnun verður að sinna í næstu framtíð.

Nú mun mega telja mjög vænlegar horfur á að hér rísi nýtt álver á næstu árum. Það eitt sér mun auka raforkuþörfina um 60 % . Eins og ég gat um áðan fullnýtir sú aukning nær alla þá virkjunarstaði sem nú eru komnir langt í undirbúningi. Það kallar aftur á rannsókn nýrra virkjana. Með það í huga er ástæða til minna enn á það sem sem ég nefndi hér fyrr að fjárveitingar til rannsókna á orkulindum okkar hafa dregist saman að raungildi. Á því þarf að verða breyting nú þegar við áformum að nýta þær í stærri stíl en nokkru sinni fyrr. Annað getur ekki stýrt góðri lukku til frambúðar.

# OLÍULÍLEIT Á JAN MAYEN-HRYGG

Erindi á ársfundi Orkustofnunar 1990  
Karl Gunnarsson, jarðeðlisfræðingur

## 1. Inngangur

Í erindinu eru kynntar niðurstöður úr rannsóknum á Jan Mayen-hrygg sem gerðar hafa verið á síðustu árum í samvinnu Orkustofnunar og norskra aðila. Neðansjávarhryggur þessi gengur í suður frá eygni Jan Mayen, og liggur norðaustur af Íslandi (1. mynd).

Tildrög rannsókna eru þau, að eftir að niðurstöður Hafréttarráðstefnu Sameinuðu þjóðanna lágu fyrir upphöfust deilur milli Íslendinga og Norðmanna um skiptingu hafsvæðisins og sjávarbotnsins milli Íslands og eyjarinnar Jan Mayen, sem Norðmenn sátu og eignuðu sér. Deilurnar voru settar niður með samningi milli þjóðanna sem var undirritaður árið 1981 Niðurstöður samninganna urðu í stuttu máli þessar:

- Eyjan Jan Mayen er norskt land, og umhverfis hana er afmarkað landgrunnssvæði (hafbotnsréttindasvæði), sem er norsk lögsaga.
- Landgrunnssvæðið umhverfis Jan Mayen er þó skert þar sem íslenska 200 sjómílna svæðið skarast við 200 mílna belti Jan Mayen. (Skerðingin nemur mest um 100 sjómílum)
- Þá var skilgreindur ferhyrndur reitur á svæðinu þar sem ákveðin skilyrði gilda um eins konar gagnkvæman nýtingarrétt. Svæði þetta tekur yfir megnið af Jan Mayen hrygg, og þar með "líklegustu" olíusvæðin. Sjálf eyjan Jan Mayen er utan svæðisins. Stærð reitsins er um 155 sinnum 85 sjómíllur, eða 45.000 ferkílómetrar. Tæpir 3/4 hlutar hans liggja á norsku svæði en rúmur fjórðungur á íslensku svæði. Þessi reitur hefur þá sérstöðu að þar eiga Íslendingar rétt á að eiga fjórðungshlut í olíuvinnslu (sameiginlegu áhættufyrirtæki) á svæði Norðmanna, en Norðmenn sama hlut á íslensku svæði.
- Kveðið var á um að gerðar yrðu ákveðnar frumathuganir og mælingar á svæðinu sem Norðmenn skyldu annast og kosta, en íslenskir sérfræðingar skyldu hafa jafnan möguleika á þátttöku í rannsóknunum og eiga aðgang að niðurstöðum þeirra.

Orkustofnun var falið að skipuleggja þessar rannsóknir fyrir hönd Íslendinga, en norska Olústofnunin (Oljedirektoratet) sá um þær fyrir Norðmenn. Sjálfsagt þótti að leggja áherslu á endurkastmælingar (seismískar mælingar), sem eru ríkjandi aðferð við frumkönnun setlaga og olíusvæða. Markmiðið rannsókna var að kortleggja jarðmyndanir Jan Mayen hryggjarins og leita setlaga sem gætu verið athyglisverð frá olíuleitarsjónarmiði.

Við undirbúning samningagerðarinnar var sett saman fjölþjóðleg sérfræðinganevnd sem gerði grein fyrir þáverandi þekkingu á svæðinu. Norskir, íslenskir, franskir, þýskir og bandarískir sérfræðingar tóku þátt í þessari vinnu.

## 2. Jarðsaga Jan Mayen hryggjarins

Jan Mayen hryggurinn var álitinn vera frábrugðinn öðrum neðansjávarhryggjum við Ísland að gerð og uppruna að því leiti að hann var talinn vera brot af jarðskorpu meginlandanna. Jarðskorpa hafsbotsins umhverfis, og þar má telja Ísland sjálft með, er svokölluð úthafsskorpa, e hún hefur verið að myndast við landrek og gliðnun jarðskorpuflekanna síðustu 55 milljónir ára. Úthafsskorpan er tiltölulega ung og að mestu gerð úr gos- og storkubergi, einkum basalti. Meginlandsskorpan er miklu eldri og í henni finnast fjölbreytilegri bergtegundir, þar á meðal setlagamyndanir sem geta innahaldið olíu. Þessar eru ástæður fyrir því að sérstakur áhugi er á Jan Mayen-hrygg.

Sjálft eyjan Jan Mayen er aftur á móti virk eldfjallaeyja, og eyjan og sökkull hennar er ekki talin vera hluti meginlandsbrotsins. Það er ekki talið líklegt að jarðlög undir eyinni innihaldi olíu.

Til nánari skýringar skulum við líta á mynd sem sýnir nokkur stig í reksögu svæðisins (2. mynd). Gliðnunin skildi fyrst á milli Noregs og Jan Mayen og þar tók að myndast djúp, kallað Noregsdjúp, sem breikkaði stöðugt. Á þeim tíma var Jan Mayen svæðið áfast við Grænland og myndaði landgrunn. Fyrir um 45 milljónum ára tóku sprungur að myndast milli Jan Mayen svæðisins og meginlands Grænlands. Þar jókst gliðnun stöðugt en jafnframt dró úr gliðunarhraða á gamla rekhryggnum í Noregsdjúpi, uns hann varð með öllu óvirkur fyrir 25-30 milljónum ára. Síðan hefur gliðunin gengið milli Jan Mayen hryggjar og Grænlands þar sem nú heitir Kolbeinshryggur.

Hryggurinn er líkastur um 50-100 km breiðri jarðskorpuræmu sem hefur snarast svo jarðlögum hallar til austurs, en vesturkantur rís upp afmarkaður af miklum misgengjum. Hryggurinn er hulinn setlögum, og hlutfallsleg lækkun sjávarborðs hefur rofið á þau flöt eftir að snörunin átti sér stað. Grunnar boranir í hrygginn á vegum alþjóðasamvinnu um hafsbotskönnun (Deep Sea Drilling Project) leiddu í ljós að setlögin voru myndaðar á Tertíertíma, þ.e. eftir að landrek hófst á þessu svæði. Undir setlögum sást ógegnsætt lag sem ýmist var túlkað sem basalhraun eða harður berggrunnur meginlandsskorpunnar. Eins og nánar verðu greint frá hér á eftir, hafa rannsóknir okkar stutt aðaldrætti þessara hugmynda, en einnig hafa ný atriði bæst í myndina.

Í rannsóknum okkar, sem voru gerðar árið 1985 var mælt á samtals um 4500 km af siglingalínunum (3. mynd). Mælingarnar heppnuðust vel og með þeim mátti sjá dýpra en fyrr, og fá jafnframt skýrari og fullkomnari mynd af grynri setlögum. Auk endurkastmælinga voru gerðar í sömu siglingu þyngdar- og segulmælingar, og bylgjubrotsmælingar með hlustunarduflum. Mælingavinna og tölvuvinnsla var boðin út og norska mælingafyrirtækinu Geco fengið verkefnið.

Þversnið af Jan Mayen-hryggnum, sem byggja á niðurstöðum mælinganna frá 1985 eru sýnd á 4. mynd. Efst og yngst eru setlög sem eru frá tertíertíma. Nýju gögnin gera það kleyft að sundurgreina þau og rekja sögu upphleðslunnar í á myndunartíma hafsins. Þó er merkast að nýjar upplýsingar hafa fengist undir hinum svokallaða ógegnsæa fleti undir setlögum. Í ljós kemur að hann er efra borð hraunafláka sem liggur að líkindum yfir gjörvöllu svæðinu. Hraunin runnu fyrir 55-60 milljónum ára á landi þegar landrekssprungan austan hryggsins var að myndast. Þykkt hraunastaflans er fremur óviss á hryggnum, en að líkindum víðast minni en 1 km. Í austurjaðri hryggjarins þykkar hraunastaflinn mjög út undir djúpið. Fleygur þessi er jaðar hins fyrsta upprunalega gos- og gliðnunarbeltis, þar sem hraunin hlóðust upp og sveigðu jarðskorpuna niður undir sig. Mörk meginlands- og úthafsskorpunnar eru á þessum stað. Undir hrauninum má sjá á afmörkuðum svæðum lagskipta jarðlagasyrpu, sem við túlkum sem setlög, og eru þau margra kílómetra þykk. Þessi þykku setlög hljóta að vera töluvert gömul (frá miðlífsöld eða eldri) og hvíla á fornri jarðskorpu. Ef þessi túlkun reynist rétt þá má telja



Þessar niðurstöður sönnun á að Jan Mayen hryggurinn sé raunverulega flís úr meginlandsskorpu. Þar með eru líkur á að þar megi búast við jarðfræðilegum aðstæðum svipuðum þeim sem þekkjast við Grænland og Noreg, og þar sem aðstæður eru líklegar til olúmyndunar. Þó skal sá varnagli sleginn, að ofangreind jarðlög gætu hugsanlega verið geysilega þykkur hraunlagastafli og þá fellur þessi kennig.

Vesturjaðar hryggjarins er mótaður af misgengjum, sem sjást mjög vel í mælingunum. Jarðskorpan vestan við hrygginn er sundurkubbuð og teygð meginlandsskorpa, sem nú er að mestu hulin hraunabreiðu, sem myndaðist fyrir um 25 milljónum ára, á svipuðum tíma og hafsbotnsgliðnun hófst þar vestra fyrir alvöru.

Einnig er fróðlegt að skoða snið þvert í gegnum svæðið sunnan hins eiginlega Jan Mayen hryggjar. Þar sést í aðalatriðum svipað, nema hvað brotahreyfingar hafa verið mikilvirkari og tognun jarðskorpunnar meiri. Þar er enginn aðalhryggur sem stendur upp úr, en fleiri hryggjarskækla má sjá. Þeir eru greinilega snöruð skorpustykki milli misgengja. Yngri hraunasyrpan er einnig útbreiddari þar og hylur víðlend svæði og hindrar könnun á því sem undir liggur. Einkum verður það bagalegt þegar reynt er að rekja þessar jarðmyndanir suður í átt til Íslands.

Þróunarsögu hryggjarins eins og hún birtist í dæmigerðu þversniði er rakin í 5. mynd.

- Neðst er staðan fyrir 57 milljónum ára þegar landrek er nýlega hafið austan núverandi Jan Mayen-hryggjar og hefur klofið Noreg frá. Úthafsskorpa er byrjuð að myndast í sprungunni og hraun frá eldgosum ofan sjávarborðs flæða inn yfir strandsléttu meginlandsins og hylja setlög sem þar kynnu að finnast.
- Fyrir 50 milljónum ára hefur gliðnunin gengið lengra, gossprungan hefur fjarlægst svæðið og er sigrin undir sjávarborð í nýju sjávardjúpi. Úthafsskorpan kólnar og sigrin í sjó. Jaðar meginlandsins sigrin einnig, en í minna mæli. Nú er Jan Mayen-svæðið landgrunn Grænlands og þar leggjast til setlög sem eru framburður af landinu. Upp úr þessu byrjar svæðið að brotna og þar myndast misgengja- og gliðunarástand sem þróast næstu ármilljónatugi.
- Fyrir 30 milljónum ára hefur brotahreyfingin á Jan Mayensvæðinu gengið nær til enda, og svæðið vestan aðalhryggjarins hefur tognað svo og sigrin í sæ að hryggurinn stendur eftir einangraður. Gamla úthafsskorpan austan hryggjar heldur áfram að síga vegna lögmála kólnunar. Hryggurinn sjálfur sporðreisist og rekur vesturbrúnir upp fyrir sjávarmál. Sjávarrof hefur svo gengið á ungu setlögin og myndað sléttan rofflöt á hryggjartoppnum. Setframburðurinn sem myndast við þetta sest til neðar í hlíðunum og í djúpinu, en djúpið vestan við stöðvar allan setframburð frá Grænlandi, svo þaðan berst ekkert á sjálfan hrygginn.
- Fyrir 21 milljón ára hefur tognun vestan hryggjar gengið svo langt að skilið er að fullu milli Grænlands og Jan Mayen svæðisins og úthafsskorpa farin að myndast í geilinni. Á svipuðum tíma flæða haun yfir botninn í sigdalnum vestan og sunnan hryggjarins, og þau valda nú erfíðleikum við könnun jarðlaga á því svæði.
- Eftir þennan tíma fellur flest í ljúfa löð á svæðinu og brotavirkni og eldvirkni deyr út. Setlagahulan þykkar hægt í djúpunum og lítillaga uppi á hryggnum. Jarðskorpan sigrin smám saman dýpra í sæ vegna áframhaldandi kólnunar, og þar með sjálfur hryggurinn.

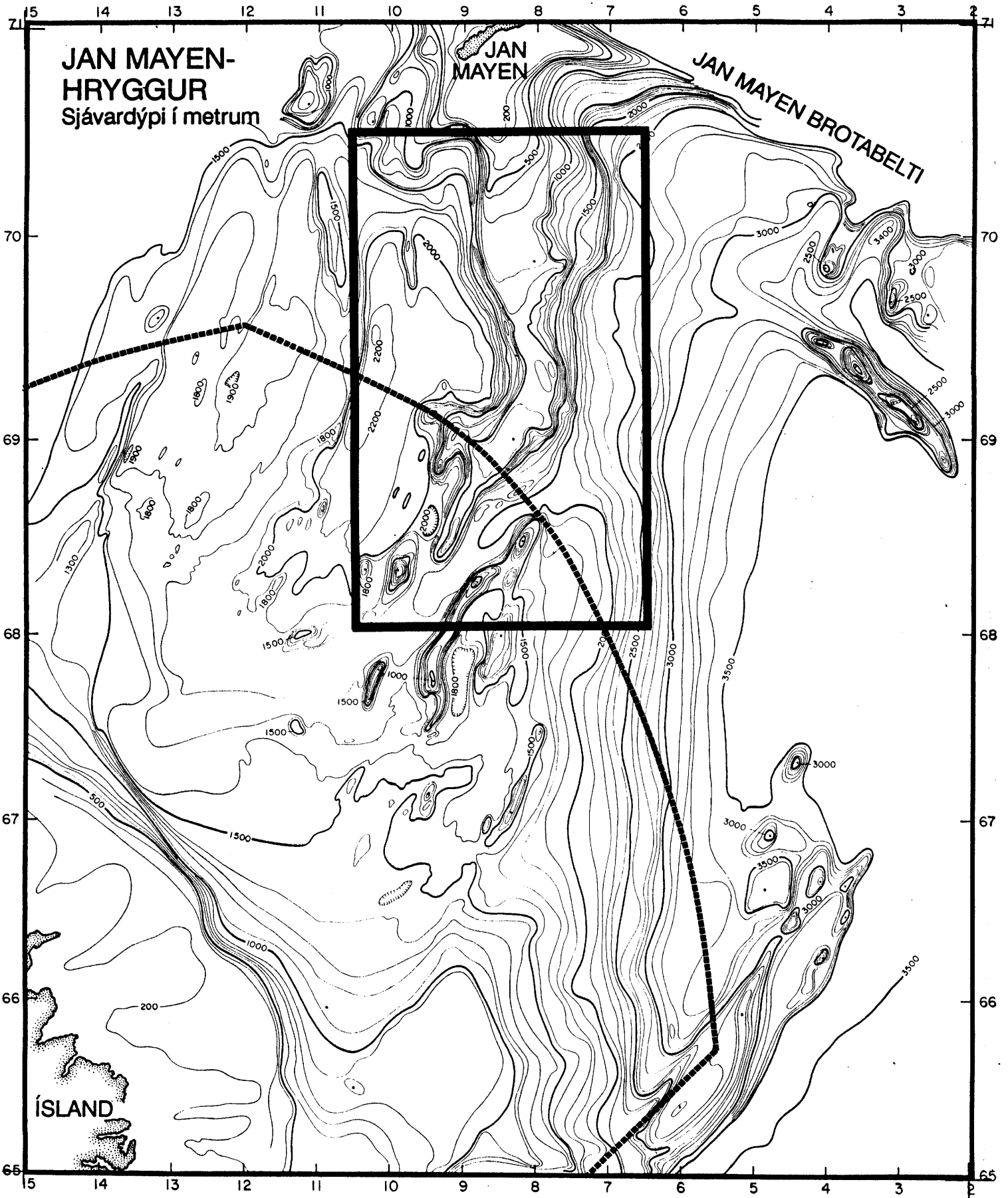
### 3. Líkur á olíu?

Endurkastsmælingar gefa sjaldnast beinar upplýsingar um tilvist olíu í jarðlögum og svo er einnig í okkar tilviki. Ýmsar óbeinar vísbendingar má þó lesa úr þeim, og mikilvægt er að á Jan Mayen-hrygg hafa fengist sterkar ábendingar um gömul setlög undir hraunlögnum. Þau gætu verið sambærileg við olíusetlög á Grænlandi eða við Noreg. Samanburður við Grænland mundi benda til aldurs setlaganna á bilinu 140-400 milljónir ára. Líklegt olíuþroskastig lífræns efnis á mismunandi dýpi hefur verið áætlað, að gefnum vissum forsendum um hitastigul og upphleðslusögu setlaganna (6. mynd). Dökka línan á þversniðinu sýnir reiknað lágmarksdýpi fyrir olíumyndun í setlögnum. Neðan línunnar hefur að líkindum myndast olía, ef heppileg jarðlög með lífrænum leifum eru þar til staðar. Þessar athuganir útiloka nær öll tertiúru setlögin (lög ofan hrauna), en eldri setlög þar neðan gætu nær alls staðar hafa myndað olíu ef gerð þeirra leyfir. Því næst má benda á mögulega staði þar sem olía gæti safnast saman, en það er gjarnan þar sem lögin liggja hæst. Frekari ábendingar um olíu verður að byggja á sýnum úr jarðlögnum, sem einungis fást með borunum sem staðsettar eru á grundvelli endurkastsmælinganna.

Flatarmál Meginlandsskorpu Jan Mayen-svæðisins slagar hátt í þurrlandi Íslands. Viðast hvar er er þessi jarðskorpa mikið brotin og sundurtoguð, og grafin undir afar þykkum og óárennilegum hraunlagastafla, og sjávardýpi er gjarnan á bilinu 1500-2000 m. Gerð hennar er þar mjög óviss og nær útilokað að geta sér til um líkur á olíu. Suðurmörk svæðisins eru einkum óglögg, enda lítið rannsökuð. Ákveðin rök benda til þess að svæðið nái jafnvel undir landgrunn Íslands norðaustur af landinu. Farin var annar leiðangur til endurkastsmælinga árið 1988. Markmið hans var annars vegar að kanna í smáatriðum athyglisvert svæði norður á Jan Mayen-hrygg, en hins vegar að fá grófa mynd af suðursvæðinu. Mælingar þessar eru enn í úrvinnslu. Normenn kostuðu siglinguna, en Orkustofnun hefur séð um tölvuvinnsluna.

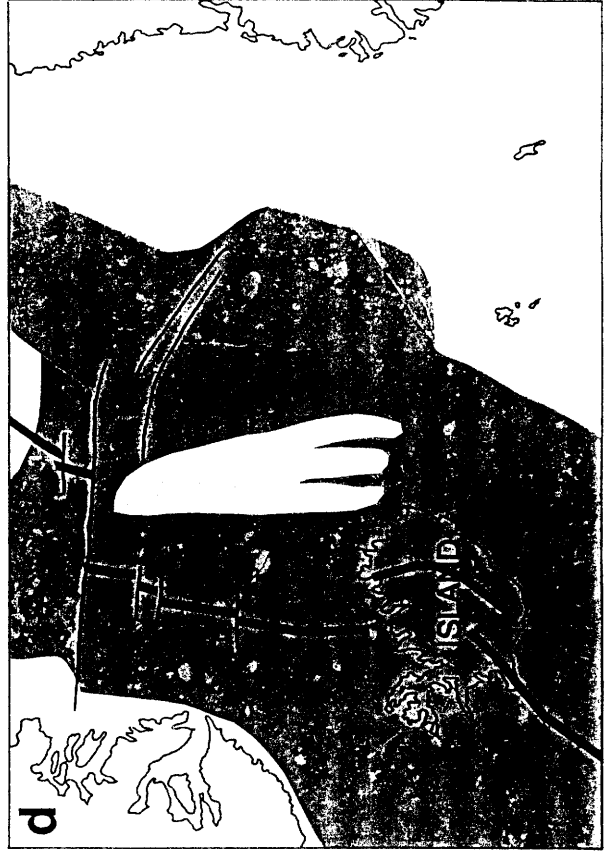
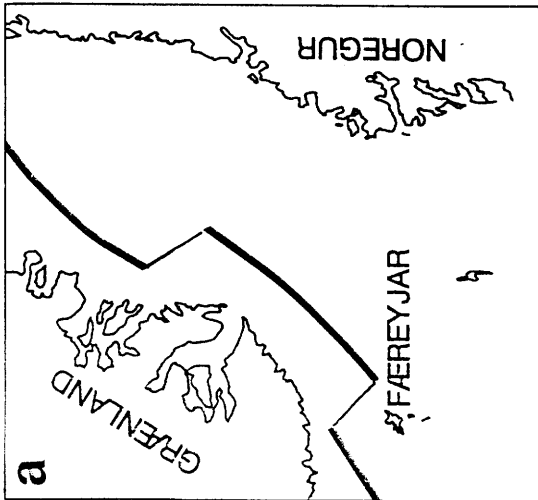
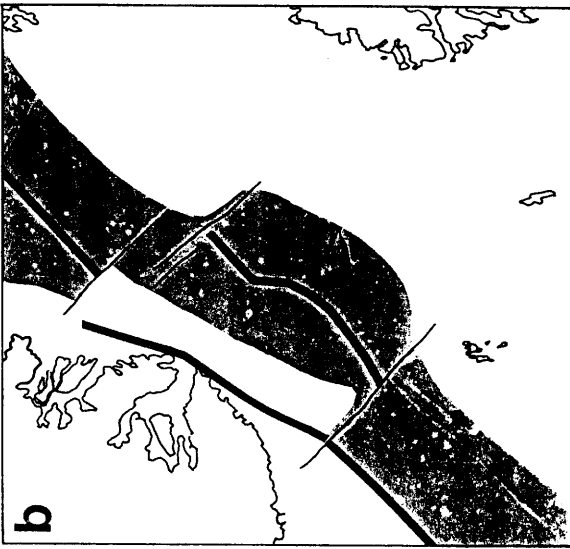
Það er sameiginlegt álit norskra og íslenskra sérfræðinga að næsta afgerandi áfangi í rannsókn jarðlaga Jan Mayen-hryggjar hljóti að vera rannsóknaboranir. Ekkert verður fullyrt um gerð, aldur og eiginleika jarðlaganna fyrr en fengist hafa sýnishornum úr borholum. Rannsókn með borunum á hafsbotni dýr, og er nú með öllu óvíst hvenær að þeirri framkvæmd kemur. Að líkindum er norska ríkið ófúst til að leggja út í þann kostnað á þessu stigi, enda er sú framkvæmd ekki hluti rannsóknarskyldunnar sem milliríkjasamningurinn kveður á um. Þó er áhugi hjá báðum rannsóknaraðilum á því að halda samstarfinu við líði, og ýmis önnur nýtsamleg rannsóknaverkefni bíða úrlausnar.

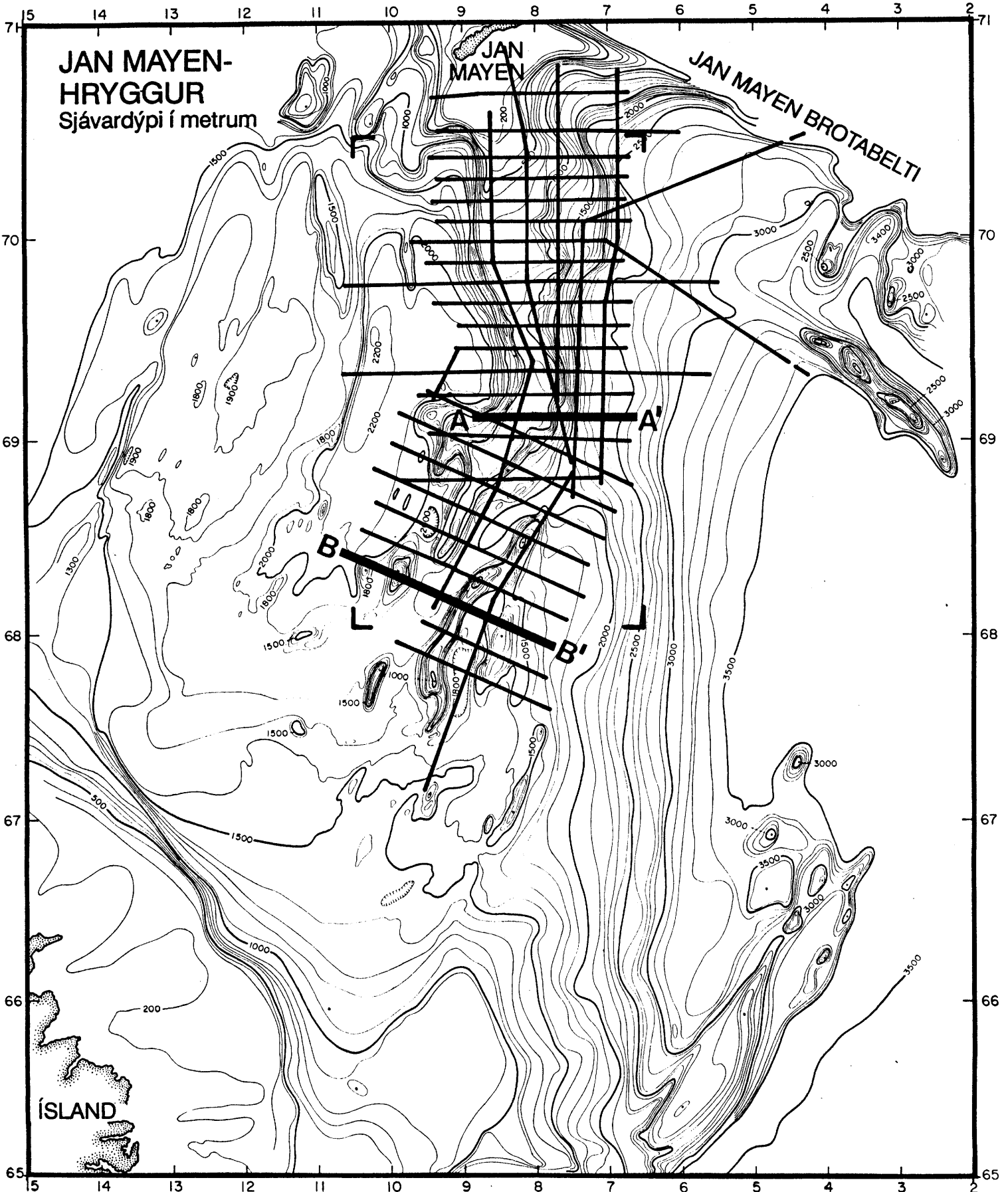
Að líkindum verður að bíða eftir því að markaðsaðstæður hvetji til frekari könnunar með rannsóknaborunum. Áhugi olíufélaganna á þessu svæði er nú lítill eins og marka má af því að einungis eitt félag, norska ríkisolíufélagið Statoil, hefur keypt mæligögnin. Sem stendur verður að viðurkenna að svæðið er ekki sérlega fýsilegt til olíuleitar. Ein ástæðan er sú að jarðlagagerðin er lítt þekkt miðað við önnur vel könnuð olíusvæði, og vísbendingar um áhugaverð setlög eru takmarkaðar. Annar ókostur er vinnslutæknilegs eðlis, þar sem vinnsla olíu á 800 m sjávardýpi eða meira á þessu afskekktu og erfiða hafsvæði væri líklega ómöguleg með núverandi tækni. Þó er engan veginn ástæða til að afskrifa Jan Mayen-hrygginn sem olíusvæði. Tækni til olíuvinnslu í djúpum sjó fleygir fram, og spurn eftir olíu á sjálfsagt eftir að aukast.



1. mynd. Hafsvæðið milli Íslands og Jan Mayen. 200 mílna mörk efnahagslögsögu Íslands og reitur þar sem Ísland og Noregur ega sameiginlega hagsmuni.

2. mynd. Landreks saga hafssvæðisins milli Noregs og Greenlands síðustu 60 milljón árin. Nýmynduð úthafsskorpa er dökk.

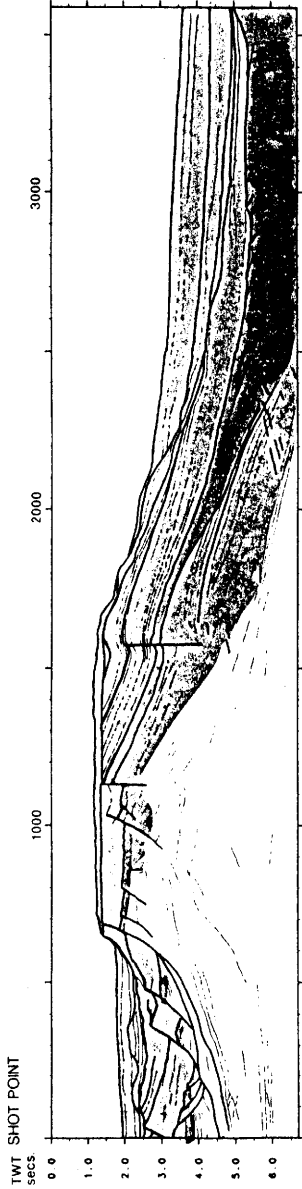




3. mynd. Siglingalínur vegna endurkastsmælinga á Jan Mayen-hrygg 1985. Lega þversniða AA' og BB', sem sýndar eru á 4. mynd.

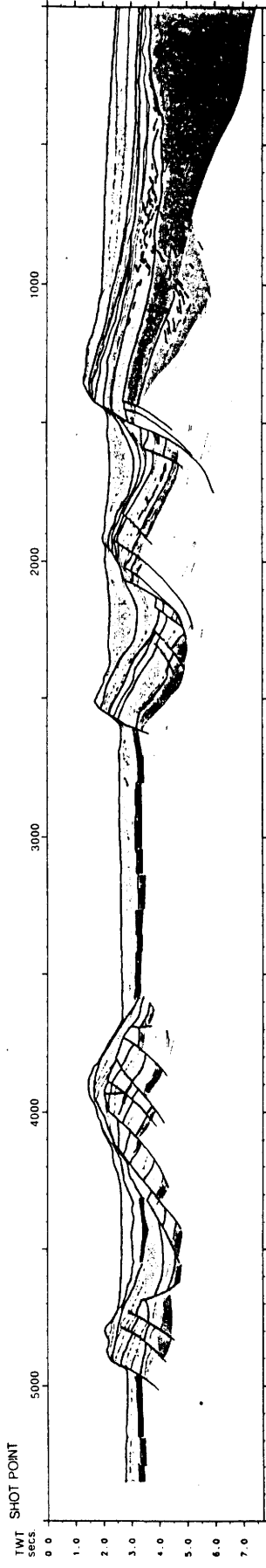
**A'**

**A**  
JM - 12 - 85

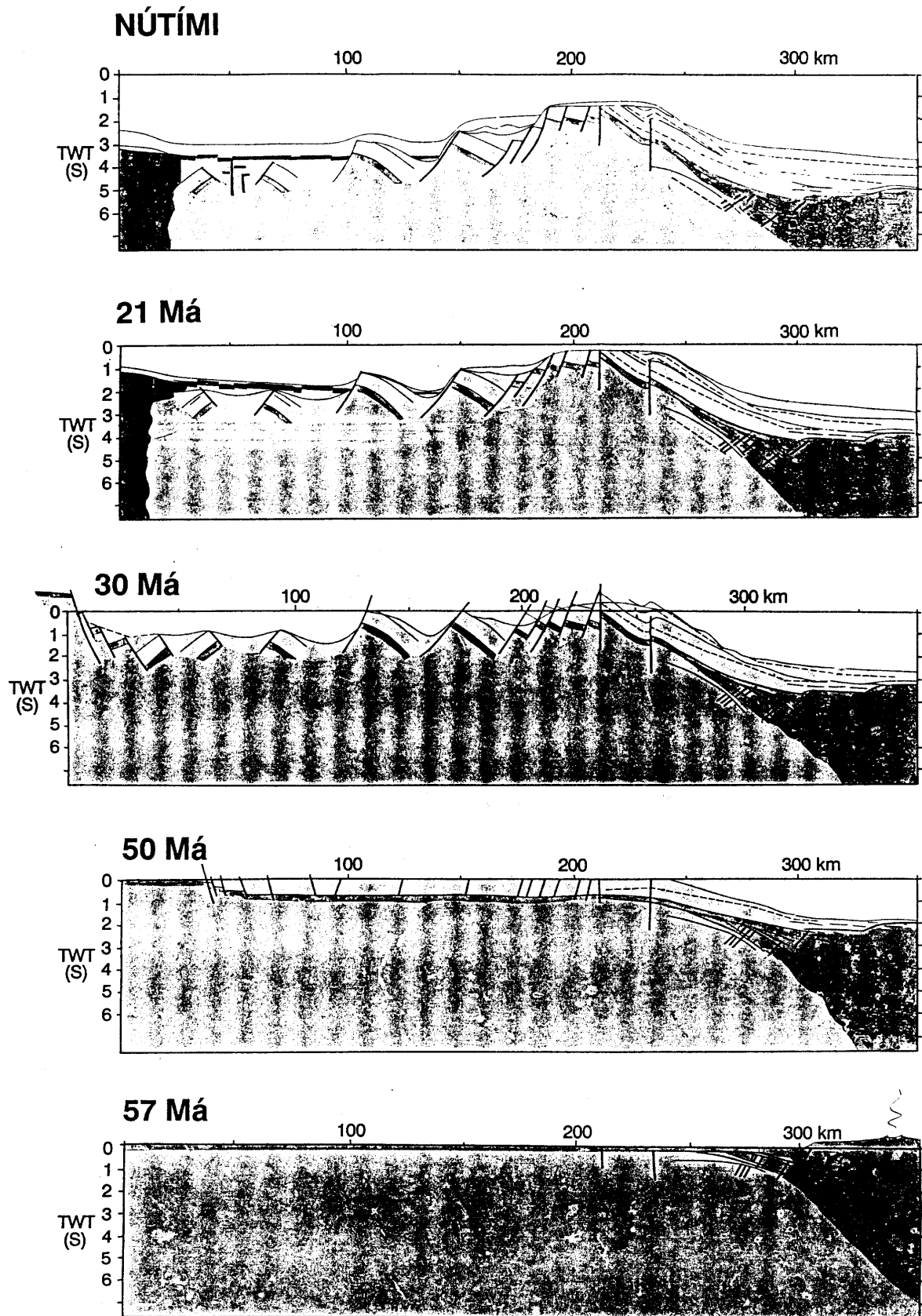


**B'**

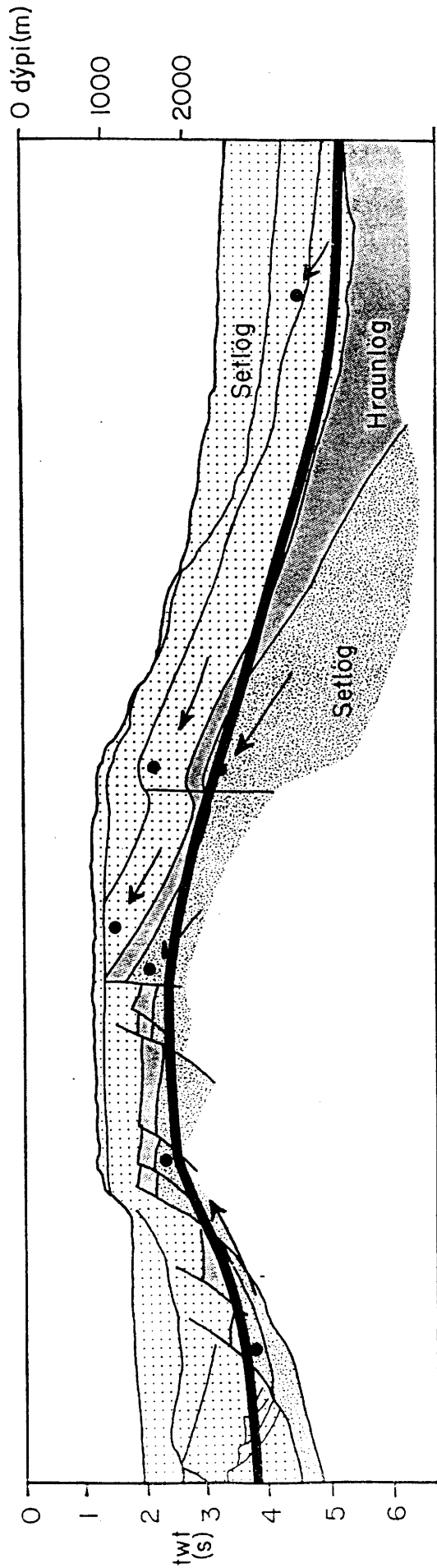
**B**  
JM - 20 - 85



4. mynd. Jarðlagasnið yfir Jan Mæyen-hrygg og framhald hans til suðurs.



5. mynd. Röð þversniða á hrygginn, sem sýnir þróun jarðmyndana síðustu 57 milljón ára.



6. mynd. Þversnið yfir Jan Mæyen hrygg, sem sýnir helstu jarðlagamyndanir. Dökka breiða línan táknaðar reiknaða lágmarksdýpt olíumyndunar. Órvar og punktar tákna mögulegar tilfærsluleiðir og samsöfnunarstaði olíu.



# LANGTÍMABREYTINGAR Á VATNAFARI OG TENGL ÞESS VIÐ VEÐURFAR

Erindi á ársfundi Orkustofnunar 30. mars 1990  
Árni Snorrason, forstöðumaður Vatnamælinga

## 1. Inngangur

Í þessu erindi er ætlunin að fjalla um veðurfarsbreytingar og vatnafar. Ekki er það að ástæðulausu því eins og flestum er kunnugt, þá á sér stað mikil og víðtæk umræða um loftslagsbreytingar er gætu átt sér stað vegna mengunar mannsins á umhverfi sínu. Alþjóðastofnanir hafa skipulagt víðtækt samstarf á sviði tækni og vísinda og ber þar hæst rannsóknir á sviði veður- og vatnafræði. Í burðarliðnum er fimm ára samnorrænt rannsóknarverkefni er snýr að tengslum veðurfarsbreytinga við breytingar á hinum ýmsu ferlum vatnshringrásarinnar, og er Ísland virkur þátttakandi í undirbúningi þess.

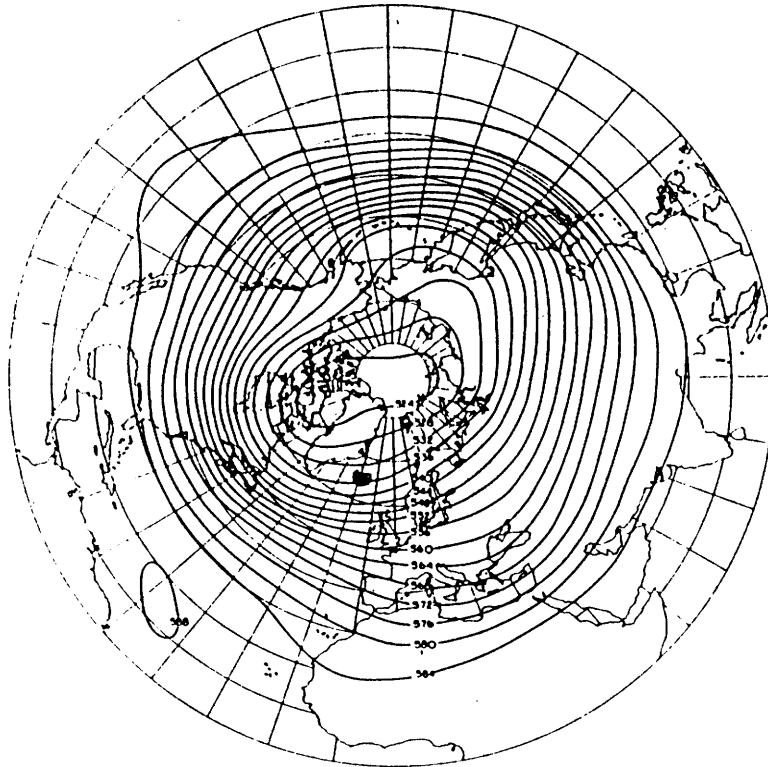
Fyrsta skrefið í öllum athugunum á hugsanlegum breytingum á náttúrufari er að skoða eins og kostur er þær náttúrulegu breytingar, sem þegar eru þekktar af mældum gögnum eða eftir öðrum heimildum. Því mun ég byrja á lýsingu á veðurfari og veðurfarsbreytingum sem byggir að miklu leyti á umfjöllun veðurfarsfræðingsins H.H. Lamb. Því næst mun ég fjalla um langtímabreytingar á vatnafari eins og þær koma fram í mældum rennslisröðum þriggja vatnsfalla.

Að lokum er fjallað um tengsl veður- og vatnafars og er þar annarsvegar byggt á samspili háloftavinda og rennslis og hinsvegar á samspili rennslis við vindstyrk og hita mæld á jörðu niðri. Mjög mikilvægt er að finna tengsl veðurs- og vatnafars og má þar sérstaklega nefna að slíkt gefur möguleika á að nota sér upplýsingar um veðurfar til að segja fyrir um vatnafar, utan þeirra svæða og þess tíma sem vatnamælingar ná yfir. Á þetta við um fortíðina og eins framtíðina, þegar og ef tekst að líkja eftir og segja fyrir um langtímabreytingar á veðurfari.

## 2. Veðurfar og vindar

Inngeislun sólarinnar er mjög breytileg eftir breiddargráðum og svo er einnig um útgeislun jarðarinnar. Þetta veldur verulegum hitamismun milli miðbaugs og heimskaута, sem knýr síðan vindakerfi jarðarinnar og reyndar einnig hafstraumana. Snúningur jarðar mótar síðan þessi kerfi, ásamt mismunandi legu landsvæða og hafa. Við miðbaug stígur loft til himins og er þar kallað kyrrabelti. Beggja vegna við það eru staðvindabeltin, með austlægum vindi. Þau takmarkast af niðurstreymi og hæðabelti við 30° breiddargráðu, en síðan taka vestanvindabeltin við að lægðabelti nálægt 60° breiddargráðu. Norðan lægðabeltisins eru síðan austlægir heimskaутavindar. Á mörkum hinna hlýju hitabeltis- og hinna köldu heimskaутalofmassa eru skörp meginskil. Meginskilin eru ekki stöðug, heldur ganga í bylgjum og á þeim myndast lægðirnar, sem okkur eru svo kærar.

Hæð 500 mb þrýstiflatarins gefur ágæta lýsingu á háloftavindum veðrahvolfsins. Hann liggur í um 5-6 km hæð, um miðbik veðrahvolfsins. Þar sjást glögg megindrættir veðrakerfanna á hnattrænum mælikvarða. Á 1. mynd eru sýndar jafnhæðalínur 500 mb þrýstiflatarins yfir norðurhveli jarðar. Kortið lýsir meðalástandi áráanna 1949-1953. Jafnhæðalínurnar samsvara nokkurn vegin jafnþrýstilínum á þann veg að vindur blæs eftir jafnhæðarlínunum með vindstyrk sem er í öfugu hlutfalli við bil milli jafnhæðarlína. Af kortinu má því ráða að vestan-



1. mynd. Jafnhæðarlínur í 500 millibara þrýstifleti. Meðaltal áráanna 1949-1953.

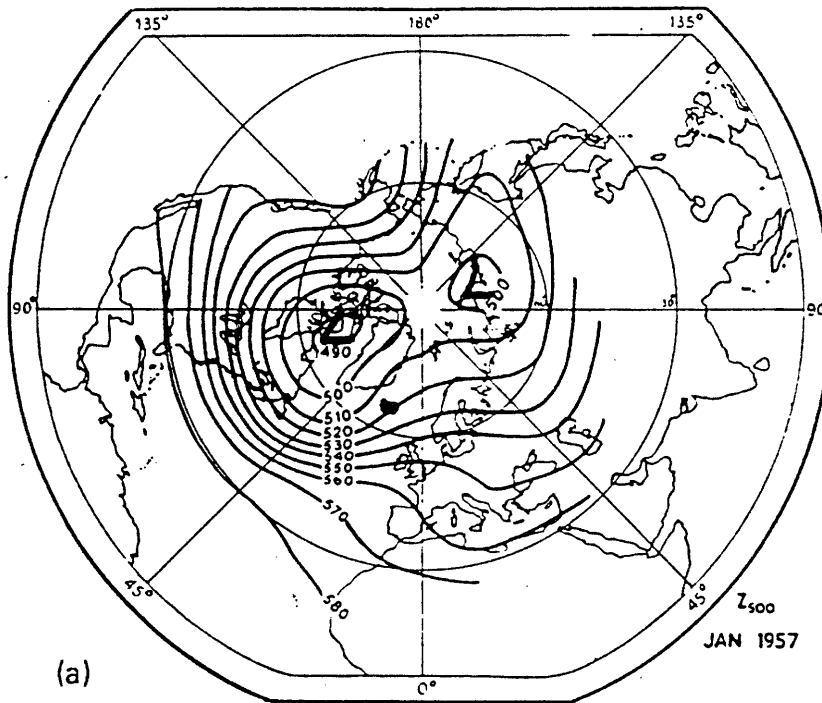
vindastrengurinn umlykur jörðina og lægðarmiðju um það bil á heimskautilnu, og er hann sterkastur austan meginlandanna. Tvenn lægðardrög rjúfa samhverfuna og er annað við austurströnd Asíu en hitt við NA strönd norður Ameríku. Bæði þessi lægðardrög sveigja vestanvindáttinni til norðurs austan við sig og gera það að verkum að ráðandi stefna háloftavinda yfir Íslandi er suðvestlæg.

Breytingar í veðri og veðurfari endurspeglast í breytingum á vindakerfum háloftanna, en þær síðarnefndu má flokka í nokkra meginþætti.

- Í fyrsta lagi eru breytingar í styrk vindhringrásarinnar.
- Í öðru lagi eru breytingar á braut aðal-vindstrengsins eftir breiddargráðum.
- Í þriðja lagi eru breytingar á bylgjulengd meginstraumsins, en hann bylgjast í svokölluðum Rossby-bylgjum umhverfis jörðina.  
Í fjórða lagi eru það breytingar á bylgjuhæð Rossby-bylggnanna.
- Í fimmta lagi eru það breytingar á staðsetningu megin-miðju vindhringrásarinnar. Hún er yfirleitt staðsett við heimskautild en fjarlægist það oft verulega. Oft verða lægðarmiðjurnar tvær og jafnvel þrjár.

Á næstu tveim myndum eru sýnd dæmi af hæðarkortum fyrir 500 mb flötinn, annarsvegar janúar 1957, þar sem vindhringrásin er sterk en hinsvegar janúar 1963, þar sem hringrásin er veik.

### Janúar 1957



(a)

#### Veðurfar í Reykjavík

Loftvægi: 989.6 mb

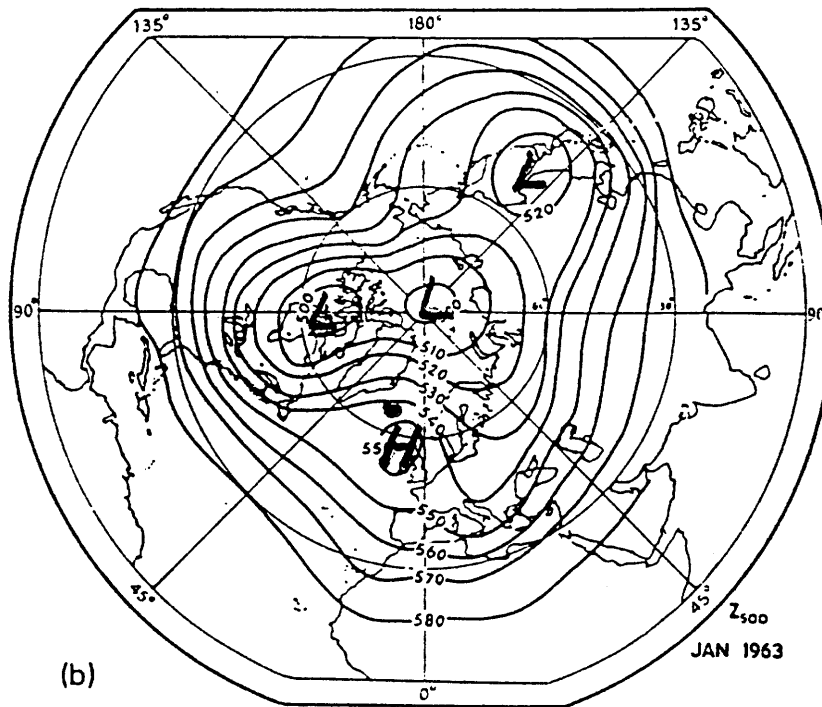
Hítastig: 1.1° C

Úrkoma: 132 mm

Veðurhæð: 5.0 vindstig

Logn: 2 % tímans

### Janúar 1963



(b)

#### Veðurfar í Reykjavík

Loftvægi: 1026.9 mb

Hítastig: -0.2° C

Úrkoma: 56.1 mm

Veðurhæð: 2.9 vindstig

Logn: 23 % tímans

2. mynd. Jafnhæðarlínur í 500 millibara þrýstifleti, a) janúar 1957, b) janúar 1963.

Á 2. mynd a) sjáum við heilsteypt hringstreymi með miðju vestur af Grænlandi. Lægðardrag liggur síðan nokkuð samhverft yfir heimskautið til Síberíu. Mikill vestan og suðvestan strengur er á Atlantshafi allt til Bretlands og Norðurlanda.

Á 2. mynd b) einkennist hringstreymið af óreglu vegna mikils útslags eða mikillar bylguhæðar Rossby-bylnanna. Þrjár lægðarmiðjur eru í kerfinu, auk þess er hæð á vestanverðu Atlantshafi sem hindrar megin-strauminn (kallað "blocking"). Hvergi er mikill kraftur í vestanvindum, vegna alls þessa. Í *Veðráttunni* kemur fram að verulegur munur er á veðurfari þessara tveggja janúarmánaða.

Tíðarfar í janúar 1957 var talið óhagstætt, enda mjög stormasamt. Meðalloftvog í Reykjavík var 989,6 mb, meðalhitastig 1,1°C og úrkoma 132 mm. Meðalveðurhæð var 5,0 og vindáttir suðlægar. Logn var 2% tímans.

Tíðarfar í janúar 1963 var talið mjög hagstætt, enda stillt veður. Meðalloftvog í Reykjavík 1026,9 mb, meðalhitastig -0,2°C og úrkoma 56,1 mm. Meðalveðurhæð var 2,9 og vindáttir suðlægar. Logn var 23%, sem er mjög óvenjulegt.

Breytingar á hringstreyminu eiga sér stöðugt stað. Oft sveiflast kerfið úr veikri hringrás í sterka eða öfugt á nokkrum vikum. Jafnframt eru miklar breytingar milli árstíða og eru vestanvindarnir mun sterkari á vetrum en sumrum. Langtímabreytingar eiga sér einnig stað og hafa í för með sér breytingar á veðurfari og á loftslagi ef til enn lengri tíma er litið.

Í ljósi þessa er því forvitnilegt að gera sér grein fyrir (breytingum á) vindhringrás liðinna tíma og hefur veðurfræðingurinn H.H. Lamb ásamt fleirum reynt að gera loftþrýstingskort eftir mældum gögnum aftur í aldir og hafa kort fyrir meðalástand janúar og júlí hvers árs allt aftur til ársins 1750 verið gerð og gefin út (Lamb og Johnson 1966).

### 3. Vatnafar

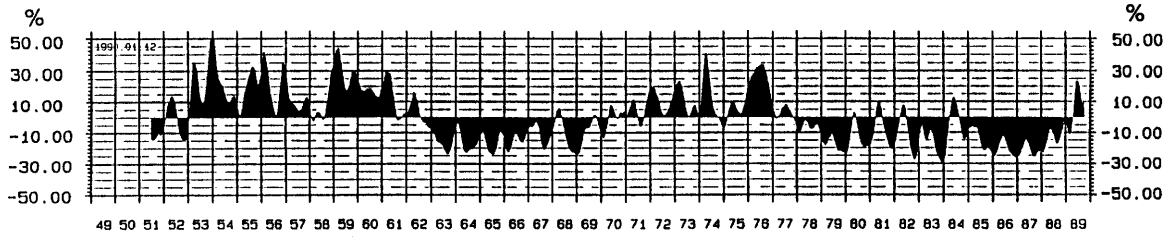
Umfjöllun um vatnafar byrjar á því að sýna rennslisröð, sem sýnir vel langtímabreytingar á því.

Dæmi verður tekið af rennsli Hvítár í Borgarfirði. Samfelldar mælingar hafa verið gerðar frá árinu 1951, ofan brúarinnar við Kljáfoss. Vatnasvið árinna þar er um 1685 km<sup>2</sup>, þar af um 365 km<sup>2</sup> jökull. Mikil hraunasvæði eru á vatnasviði Hvítár og gera þau ána að einhverri stærstu lindá landsins.

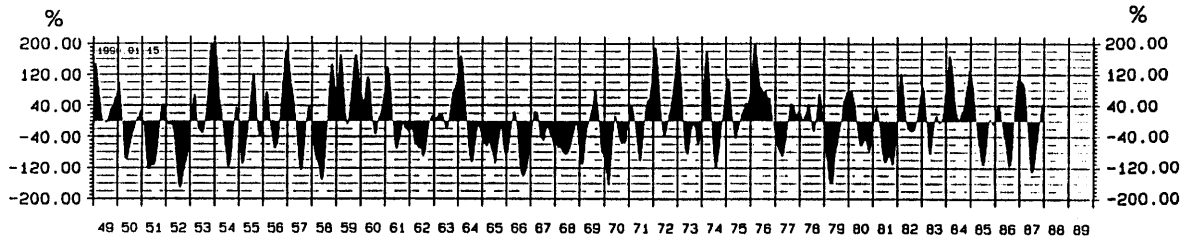
Á 3. mynd er teiknuð tímaröð af fráviki rennslis Hvítár frá langtímameðaltali, í prósentum af því. Til þess að fá skýrari línur er þetta frávík jafnað með vegnu hlaupandi meðaltali 181 dags. Aðrar raðir eru gerðar á sama hátt.

Okkur er samt að telja linaárna jafnar í rennsli og er það jafnvel skilgreiningaratriði. Því kemur það mjög á óvart hversu miklar rennslisveiflur eru í þeim. Þessar sveiflur dyljast okkur þó oft því hér eru breytingar fyrst og fremst milli ára eða áratuga og því illgreinanlegar nema fyrir liggja nákvæmar, samfelldar mælingar, sem ná yfir langan tíma.

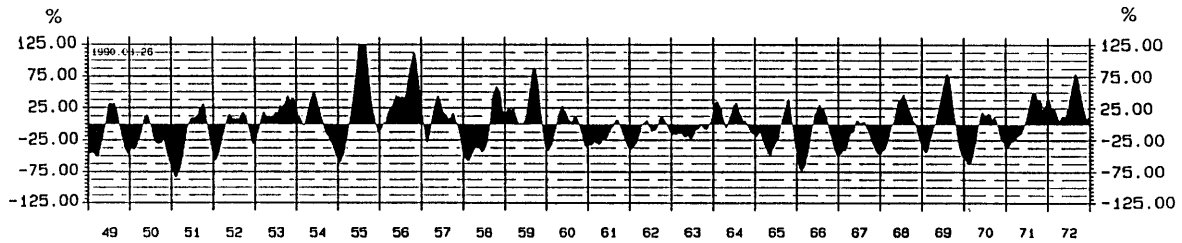
Í upphafi mælitímabilsins eru vatnsrýr ár en um 1952 hefst áratugur hagstæðs vatnsbúskapar. Um og eftir 1960 dregur mjög úr vatni og helst svo út hafísárin. Um 1970 dragnast í ánni og árin á eftir allt til ársins 1976 eru ágæt hvað varðar rennsli. Árin 1977 söðlar um og hefst þá langvarandi lágrennlistímabil allt til ársins 1989, rofið af ágætu vatnsári 1984. Tilhneiging ársins 1989 heldur áfram nú í ár og stefnir í mikinn snjóávetur.



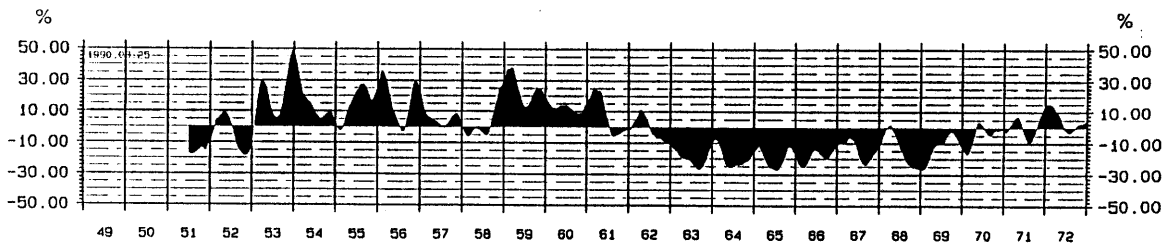
3. mynd: vhm066 Hvítá; Kljáfoss Rennsli sem jafnað prósentískt frávik meðalrennsliis



4. mynd: Suðlægur vindkomponent í 500 mb fleti Jafnað prósentískt frávik frá meðalgildi



5. mynd: Suðlægt varmaaðstreymi í Reykjavík Jafnað prósentískt frávik frá meðalgildi



6. mynd: vhm066 Hvítá í Borgarfirði; Kljáfoss Rennsli sem jafnað prósentískt frávik meðalrennsliis

En hvar er að leita skýringa á þessum langtíma sveiflum í rennsli? Hvernig tengjast þessar breytingar veðurfarsbreytingum eða veðurfari yfirleitt?

Auðvitað er ljóst að vatnafar er nátengt veðurfari, en oft er erfitt að finna tengsl við hefðbundnar hita- og úrkomumælingar, oft gerðar langt utan vatnasviða þeirra vatnsfalla, sem eru til athugunar. Einnig eru slíkar mælingar í eðli sínu punktmælingar, sérstaklega á það við um úrkomumælingar. Ennfremur eru mikilvægustu afrennslissvæðin á hálendinu og til fjalla og er næsta víst að samband úrkomu á láglandi við úrkomu á hálendi er háð ýmsum þáttum og vísast mjög breytilegt eftir veðri og veðurfari almennt. Þetta á einnig við um jöklana, en þar kemur til viðbótar samskonar vandamál varðandi hitann. Hiti á láglandi segir ekki alla söguna um hita á hálendi eða jöklum.

Til þessað forðast notkun á punktmælingum á veðri er mögulegt að nota annars konar breytistærðir sem lýsa veðurfari. Á vatnafræðiráðstefnu, sem haldin var haustið 1987 kynnti Trausti Jónsson veðurfræðingur athyglisverðar athuganir sínar á háloftaveðurfari, sem hann fjallaði frekar um á námsstefnu Íslenska vatnafræðifélagsins um gróðurhúsaáhrif nú í janúar. Með leyfi hans nota ég hér tímaröð af sunnan vindkomponenti í 500 mb fleti yfir Íslandi. Röðin byggir á útreiknuðum mánaðarmeðaltölum af vindstyrk og hefur verið farið með hana á svipaðan veg og rennslisráðirnar (4. mynd).

Tilraun var einnig gerð með annarskonar tímaráðir. Þær eru grundvallaðar á mælingum á vindstyrk og stefnu, ásamt mælingum á hitastigi. Þessar mælingar eru frá Reykjavíkurlflugvelli og eru gerðar á 3 klst. fresti. Fyrir hverja athugun var margfaldað saman hitastigi og vindstyrk að því tilskyldu að hitastigið væri hærra en 0°C og vindstyrkur meiri en 10 hnútar, annars var margfeldið sett jafnt núlli. Tvær tímaráðir dagsgilda voru síðan gerðar, önnur var summa allra gilda margfeldisins þar sem vindstefna var á bilinu 90°-270°, en hin summa þeirra er höfðu vindstefnu frá 270° til 90°. Markmiðið með þessu var að finna tímaráðir, sem varðveittu þá þætti, sem mikilvægir eru vatnafari. Sú leit er á algeru byrjunarstigi.

Ef við skoðum saman rennsli Hvítár og veðurfarsráðirnar eru tengslin augljós (3., 4., 5., og 6. mynd). Tímabil sterkra sunnanátta tengjast miklu afrennsli. Eins sjáum við að áhrif veikra sunnanátta, (eða sterkra norðanáttanna) tengjast lágrennslitímabili hafísáranna. Einstök ár skera sig út úr. Árin 1950-51 voru miklir þurrkar á Suður- og Vesturlandi, en á Austurlandi voru þrálátar norðaustanáttir og gífurleg úrkoma. Árin 1953 og 1959 voru mjög úrkomusöm á Suður- og Vesturlandi. Árin 1976 og 1984 voru úrkomusöm á suður og vesturlandi, en mjög hlý á Norður og Austurlandi. Árið 1964 var kallað ár veðurbliðunnar, aðallega vegna óvenju hlýrrar vetrarveðráttu og sumarbliðu, þó var kalt inn til landsins, sérstaklega á Norðurlandi. Vatnsbúskapur ársins var hins vegar með þeim hætti að vetrarrennsli var óvenju mikið, en um sumarið var veður svo aðgerðarlítið að jöklaleyting var með allra minnsta móti og sagt var að jökulár eins og Kaldakvísl, sem á sér hátt liggjandi jökulsvæði, kæmi ekki fram. Árið 1979 var einnig afbrigðilegt, en á annan veg, því þá voru sumarkuldar almennir eftir kalt vor. Vetur setti einnig snemma að.

Auðvitað eru tengsl vatnafars við veðurfar flóknari en hér er lýst. Þó er athyglisvert að einfaldar samfylgniathuganir sýna að marktæk tengsl eru milli ofangreindra tímaráða og eru þessi tengsl ekki einungis samtímatengsl, heldur eru einnig tengsl milli rennslis og háloftavinda undangenginna mánaða. Ekki er vafi á því að hægt er að draga þessi tengsl fram á ákveðnari hátt með því t.d. að gera greinarmun á árstíðum, tengja fleiri háloftaveðurþætti ofl. í þessum dúr, en það bíður betri tíma.

#### 4. Lokaorð

Hér að framan var lögð áhresla á hversu þýðingarmikið það er að þekkja sem best tengsl veður- og vatnafars. Slík þekking getur víða komið að notum við nýtingu okkar á vatnsafla landsins. Þar má nefna

- Rekstarspár, sérstaklega á misseris-grunni.
- Bættar og jafnvel breyttar hönnunarforsendur.
- Breytt staða smávirkjana og jarðhitavirkjana (sem virkja má á stuttum tíma).
- Möguleikar á samnýtingu jarðhita og vatnsafls m.t.t. langtímabreytinga á rennsli.

Hér að framan hafa verði farnar lítt troðnar slóðir við athugun á tengslum veðurs- og vatnafars, en þó ekki á enda gengnar. Það er þó von mín að slík tengsl gefi okkur möguleika á að skoða vatnsbúskap í fortíð og framtíð með því að nota bæði veðurfarsmælingar og veðurfarslíkön. Það stuðli síðan að því að bæta vatnafræðilegar forsendur sem liggja til grundvallar við nýtingu vatnsauðlindarinnar.

# ÁHRIF JARÐGANGA Á VIRKJUN VATNSORKU Á ÍSLANDI

Erindi á ársfundi Orkustofnunar 1990

Birgir Jónsson, deildarstjóri

## 1. Inngangur

Íslendingar hafa löngum litið á jarðgöng sem eins konar neyðarúrræði og oft hafa útlenskir ráðgjafar haft forystu um að fara með ýmsar framkvæmdir undir yfirborð jarðar. Ýmis dæmi er hægt að nefna um þetta. Til stóð að Írafossvirkjun yrði ofanjarðarvirkjun, en vegna ábendinga sænskra ráðgjafa (VBB) var farið í neðanjarðarvirkjun. Gert var ráð fyrir að leiða vatn í skurði frá Eyjabakkalóni til stöðvarhúss Fljótsdalsvirkjunar, en samkvæmt tillögum norskra ráðgjafa (á vegum Krafftaks) verður vatnið leitt alla leiðina í jarðgöngum.

Allt fram á allra síðustu ár hafa ýmsir lykilaðilar hérlandis reynt að forðast jarðgangagerð ef einhver annar möguleiki hefur verið í stöðunni. Virkjunarmenn virtust frekar vilja stálpípur en göng ef þess var nokkur kostur og vegagerðarmenn vildu frekar byggja upp vegi og leggja bundið slitlag en ráðast í dýr veggöng.

Ástæður þess að margir Íslendingar hafa viljað forðast jarðgöng hafa aðallega verið tvær:

- a) Sumir telja íslenskt berg óhæft til að gera jarðgöng í.
- b) Jarðgöng hafa þótt of dýr á Íslandi.

Sem svar við a) má segja að fyrir utan yngsta bergið, er íslenskt berg yfirleitt alveg sæmilegt til jarðgangagerðar, jafnvel mjög gott sums staðar og með nýjustu styrkingaraðferðum er unnt að ráða við verstu brotabelti á nokkuð öruggan hátt.

Varðandi b) er þess að geta, að í tölvulíkani því, sem notað er á Orkustofnun til að reikna út hagkvæmni hinna ýmsu virkjunarhugmynda, er það einingarverð fyrir jarðgöng, sem nú er notað, mun lægra og í sumum tilvikum aðeins 60% af því, sem notað var 1984, áður en framkvæmdir hófust við Blönduvirkjun. Þessari lækkun hafa valdið lágur kostnaður við framkvæmdirnar við Blöndu og Ólafsfjarðarmúla og lágt tilboð Krafftaks í Fljótsdalsvirkjun. Einingarverðið í tölvulíkani Orkustofnunar er ákveðið í samráði við VST hf., sem er ráðgjafi í ofangreindum þremur verkum.

Aðalástæða þess hve jarðgangaverð var áætlað hátt 1984 er sú, að tíu á voru liðin frá því nokkur veruleg gangagerð hafði farið fram (tafla 1). Hér hafði því ekki verið beitt nýjustu og afkastamestu tækjum í jarðgangagerð, t.d. í bergstyrkingu. Nú hefur hins vegar verið samfelld vinna á þessu sviði síðan 1984 og verður sennilega til a.m.k. 1995. Komin er reynsla á að beita þessum hagkvæmu tækjum við íslenskar aðstæður og útkoman er stórlækkað verð.

Marga hafði reyndar grunað að jarðgangaverð það, sem gert var ráð fyrir hérlandis, væri of hátt þar sem menn sáu virkjanir reistar t.d. í Noregi með margra tuga km löng göng, en þó átti rafmagnið að vera á sama verði og frá virkjunum hér. Annað hvort var verulega niðurgreitt verð á orku frá virkjuninni, eða jarðgöngin mun ódýrari en hér. Sennilega var um að ræða sitt lítið af hvoru.

Íslendingar hafa mikið stuðst við reynslu Norðmanna og Svía við jarðgangagerð hér á landi, bæði hvað varðar ráðgjöf og framkvæmdaratriði. Þetta hefur gefist vel því þessar þjóðir eru í fararbroddi hvað varðar jarðgangagerð í heiminum í dag; Svíar í nýjungum varðandi tækjapró-



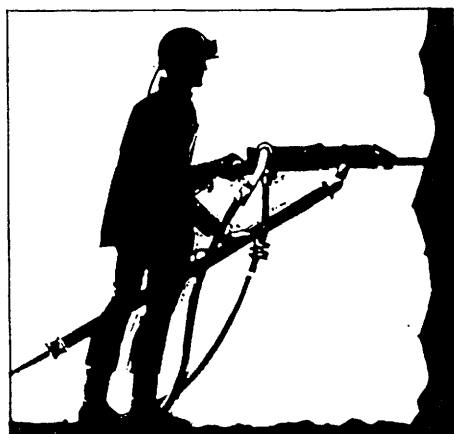
un og Norðmenn í að beita tækninni til þess að lækka verð á jarðgöngum.

TAFLA 1: Jarðgöng á Íslandi, alls 12.4 km (1990)

Virktanagöng:		
Írafoss (Sog)	1951-'52	0.9 km
Grímsá	1957	0.1 km
Efra Sog	1958-'59	0.4 km
Búrfell	1966-'69	2.0 km
Laxá III	1971-'72	1.2 km
Blanda	1984-'87	3.2 km
Alls: 8 km		
Veggöng:		
Arnardalshamar	1948	30 m
Strákar	1966-'68	780 m
Oddskað	1973-'74	440 m
Ólafsfjarðarmúli	1988-'90	3150 m
Alls: 4.4 km		

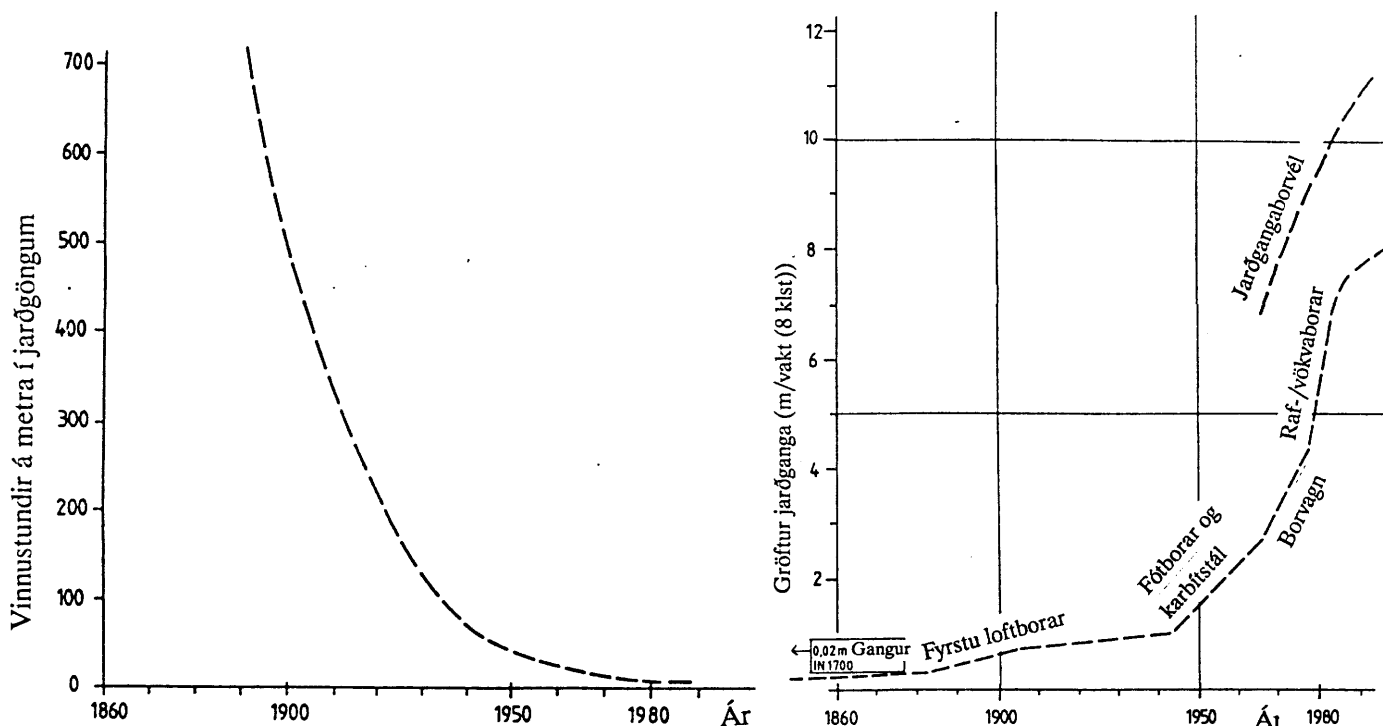
## 2. Þróun aðferða í jarðgangagerð

Þó að hér á landi hafi löngum verið minna um jarðgangagerð en í flestum nágrennalanda okkar, þá var nokkuð um að menn, snemma á öldum, grófu hella fyrir kvikfé og jafnvel sem íverustaði fólks. Voru hellarnir klappaðir í hálf-samlímdan sandstein, annað setberg eða móberg. Margir þessara hella eru mjög vel gerðir og stórir, jafnvel stærri en Hóladómkirkja, og vissulega varanlegustu húsakynni á Íslandi. Einnig var nokkuð um að manngeng jarðgöng lægju út úr bæjum, e.t.v. sem undankomuleið í ófriði (Reykholt, Keldur) eða til að komast milli húsa og kirkju (Skálholt).



1. mynd. "Fótbörinn", sænsk uppfinning í lok seinni heimsstyrjaldar, gerbreytti vinnuaðstöðu bormannsins. Þrýstiloftsstrokkuar lyftir undir lofthamarinn og þrýstir honum einnig inn.

Erlendis stunduðu menn námavinnslu neðanjarðar, með því að kveikja eld við stafn námaganganna, langt fram á síðustu öld. Við hitann mynduðust smásprungur í bergið svo unnt var að meitla 5-10 cm eftir hverja hitun. Þessi aðferð var notuð í Noregi allt fram til 1890. Löngu fyrr, eða á 18. öld, voru menn þó farnir að nota púður til sprenginga. Alfred Nobel fann síðan upp dynamitið 1867 og jókst við það mjög öryggi við sprengingar.



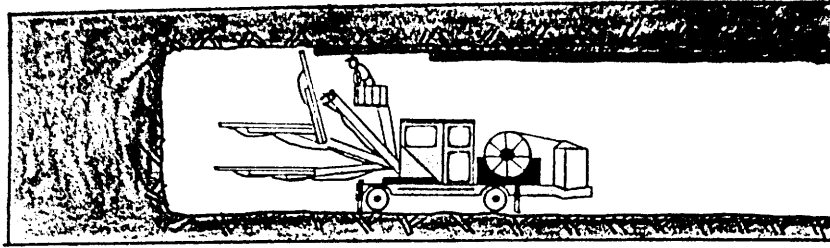
2. mynd. Tvö línurit sem sýna annarsvegar hvernig jarðgangagerð hefur breyst úr mannfreku handverki í háþróaða tækjavinnu, og hinsvegar hve afköst hafa aukist á sama tíma með bættri tækni.

Jarðgangagerð á Íslandi lá hins vegar niðri í margar aldir, eða uns surtarbrandsnám hófst hér á nokkrum stöðum vegna kolaskorts í fyrri heimsstyrjöldinni 1914-18. Þá voru meitluð og sprengd námugöng á mörgum stöðum, flest á Vestfjörðum. Flest voru göngin aðeins nokkrir tugir metra á lengd og var borað með handbor og sleggju fyrir sprengiholunum. Þó var beitt loftborum og gufuknúinni loftpressu í stærstu námunni, sem var í Stálfjalli á Barðaströnd. Voru þetta bestu tæki sem til voru á þessum tíma. Námagöngin í Stálfjalli urðu samtals yfir 300 m á lengd. Ein af þessum surtarbrandsnáma, að Botni í Súgandafirði, var síðan starfrækt í seinni heimsstyrjöldinni. Einnig var sett í gang surtarbrandsnáma að Tindum á Skarðsströnd í skamman tíma um 1950.

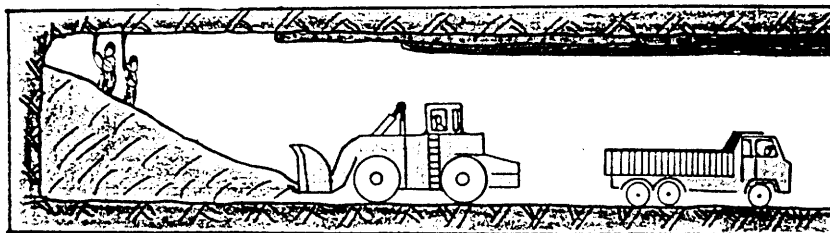
Eftir seinni heimsstyrjöldina varð ör þróun í tækjum til jarðgangagerðar í heiminum. Í Svíþjóð voru þróaðar borkrónur úr karbítstáli, sem margfölduðu borhraða og endingartíma borkrónanna (1. og 2. mynd). Einnig var fundinn þar upp þrýstiloftsfóturinn (knemateren), sem er stillanlegur loftstrokki er lofthamarinn gat hvílt á (fótbor) og létti það mjög á erfiði bormannsins.

Slíkir fótborar voru fyrst notaðir hér á landi 1947 í tilraunagöngum við Írafoss og 1948 í veggöngunum við Súðavík (Arnardalshamar). Þessi tegund tækja var síðan notuð við gerð jarðganganna við Írafoss, Grímsá, Efra Sog, Strákagöng, Búrfell og Oddsskarð, eða öll jarðgöng á Íslandi að undanskildum þremur; Laxá III (1970-71), Blönduvirkjun (1984-88) og

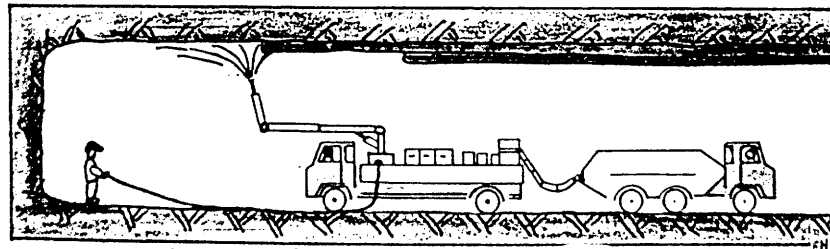
Ólafsfjarðarmúli (1988-90). Í þessum þremur göngum voru notaðir borvagnar með fjarstýrðum örmum, sem meðhöndluðu borhamrana eftir óskum bormannanna (3. mynd). Voru slíkir borvagnar nýkomnir á markaðinn er göngin við Laxá voru gerð.



Borað fyrir næstu sprengingu Sprenging



Hroðun og útmokstur



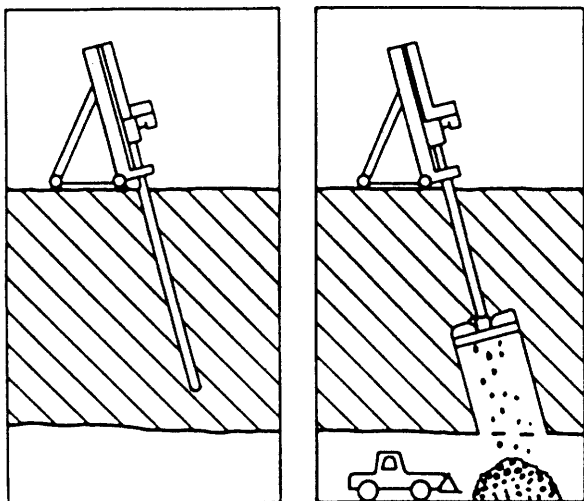
Ásprautun

3. mynd. Vinnuaðferðir sem notaðar voru við jarðgangagerð við Blönduvirkjun og í Ólafsfjarðarmúla.

Hér á landi hefur enn ekki verið beitt jarðgangaborvél sem heilborar lárétt eða hallandi göng. Þó er gert ráð fyrir að slík vél, um 5.4 m í þvermál, verði notuð til að bora hin löngu aðrennslisgöng Fljótsdalsvirkjunar. Heillegri hluti íslensks bergs er sennilega mjög heppilegur fyrir slíka vél, þar sem betur gengur að bora ef bergið er "hæfilega mikið" sprungið. Eins eru engar kvarssteindir í íslenska basaltinu, en vegna hörku sinnar slæva þær mjög fljótt bitið í brothjólum borvélarinnar, þ.e. beittum hjólum sem skerast inn í bergið (6. mynd).

Við gerð brattrra eða lóðréttra ganga eru notuð öðruvísi tæki en við láréttu göngin. Rétt eftir aldamót var sprengdur um 25 m djúpur brunnur við Landakotsspítala og var allt grjót híft upp með handafli. Við Írafoss og Grímsárvirkjun var gerður lóðréttur strokkur, rúmlega 30 m langur, niður í stöðvarhúsið á báðum stöðum. Voru strokkarnir sprengdir ofan frá og allt grjót híft upp. Þrýstivatnsgöng voru þó sprengd neðan frá á báðum stöðunum.

Í Búrfelli voru lóðrétt þrýstivatnsgöng, um 100 m löng, boruð og sprengd neðan frá úr körfu (Alimak), sem hékk í stálvír. Síðan voru göngin víkkuð út í fulla vídd ofan frá. Við Blönduvirkjun voru bæði lóðréttu göngin, þrýstivatns- og kapla/lyftugöngin, heilboruð með dragbor (raise drill) í fullri vídd, 3.75 m (4. mynd).



Við dragborun er fyrst boruð 25 cm víð hola og borskjöldur síðan dreginn upp

4. mynd. Dragbor var notaður við báða lóðréttu strokkana við Blönduvirkjun. Borinn heilboraði alls um 450 m af 3,75 m víðum göngum.

### 3. Styrkingar í jarðgöngum

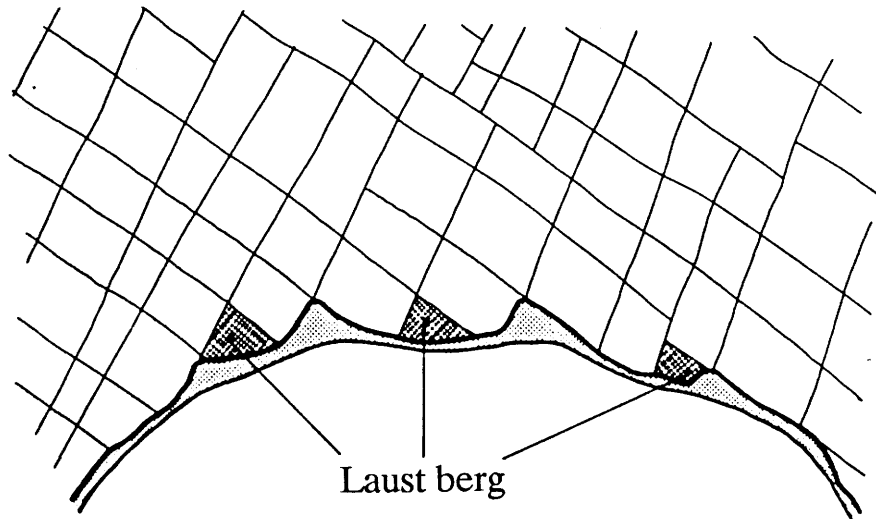
Ráðstafanir til varnar hruni inni í jarðgöngum voru öldum saman af skorum skammti. Eflaust hefur þó fljótt verið farið að nota timburbita til styrkinga og var slíkum aðferðum eitt-hvað beitt í surtarbrandsnámum hér á landi. Við Írafoss og Efra Sog var nokkuð um að lélegt berg var steypst af bak við mót, og í Efra Sogi var steypu dælt inn í bergið til styrktar (bergí-dæling). Við Grímsá voru litlar sem engar styrkingar á berginu.

Í Búrfelli var beitt steypufóðrun bak við mót, steypuásprautun (þurri blöndu) og bergboltum. Styrkingarnar voru að mestu settar eftir að gangagerðinni var lokið, þó að verstu sprungu-svæðin hafi verið styrkt á byggingartíma.

Í Blöndugöngunum var tekið upp á því að styrkja með steypuásprautun (blautri) eftir hverja sprengingu, ef þörf var talin á, sem oftast var (5. mynd). Sprautusteypa var oft blönduð stál-trefjum, sem eykur stórlega togstyrk steypulagsins á berginu. Notuð voru fljótvirk og hagkvæm tæki, sem hefðu komið sér vel við gangagerðina í Oddsskarði. Steypuásprautunin veitti mikla öryggiskennd meðan á framkvæmdinni stóð og hrun úr berginu eftir ásprautun kom varla eða ekki fyrir.

Bergboltar voru einnig notaðir í Blöndugöngunum þar sem fyrir hittust illa samlímd lagamót og eins t.d. í stöðvarhellinum, sem var allur styrktur með bergboltum, bæði þakhvelfing og veggir, auk þykks lags af sprautusteypu.

Í Ólafsfjarðarmúla var notast við alveg sömu tæki og við Blöndu og var ásprautun beitt þegar þurfa þótti. Bergið var þó mun betra en við Blöndu og voru því langir kaflar í göngunum ófóðraðir á byggingartíma.



5. mynd. Í margsprungnu bergi eins og algengt er á Íslandi kemur steypuásprautun að góðum notum til varnar því að litlar bergblökkir hrynji niður inni í jarðgöngunum.

#### 4. Jarðfræðilegar aðstæður

Mestu vandræði við jarðgangagerð eru yfirleitt í sambandi við mikið vatnsrennsli inn í göngin, sérstaklega ef það er samfara hrunhættu. Eftirfarandi tilfelli eru algengust;

- a) Neðan grunnvatnsborðs í móbergsmýnduninni.
- b) Í brotabeltum í eldra bergi (eldri grágrýtismýnduninni og blágrýtismýnduninni).

Langflest jarðgöng, sem gerð hafa verið á Íslandi, eða munu verða gerð, eru ekki í móbergsmýnduninni og falla því undir b). Erfiðleikar við jarðgangagerð hér á landi verða því helst þegar farið er í gegnum vatnsleiðandi brotabelti.

Í móbergsmýnduninni gætu þó verið sæmilegar aðstæður til gangagerðar, ef hægt er að halda sig ofan grunnvatnsborðs. Í móberginu er sennilega auðveldast að beita ekki sprengingum við gangagerðina, heldur fræsa göngin með svokölluðum "roadheads" ("róthausum"), sem er stór fræsari, sem snýst framan á sterkum hreyfanlegum armi. Einnig má meitla göngin með vökva-knúnum hamri sem hægt er að festa á gröfuarm.

#### 5. Framtíðarverkefni neðanjarðar

Hvað varðar venjuleg jarðgöng, t.d. fyrir vatnsaflsvirkjanir eða veggöng, þá hafa menn látið sér detta í hug hátt á þriðja hundrað km af slíkum mannvirkjum hér á landi.

Til að samgöngur komist í svipað horf og nú er í Færeyjum, virðist þörf fyrir a.m.k. 50-75 km af veggöngum. Bygðaröskun gæti þó dregið eitthvað úr þessari þörf. Vart er við því að búast að meira en 2-4 km af veggöngum verði gerð á hverju ári, svo langan tíma mun taka að ljúka verkinu.

Gera má ráð fyrir 150-200 km af jarðgöngum í þeim virkjunarkostum sem lauslegar áætlanir hafa verið gerðar um (tafla 2). Hve fljótt verður ráðist í þessar framkvæmdir fer eftir því hvernig gengur að semja um sölu á orkunni, en nokkur hreyfing virðist vera á þeim málum nú.

Fyrir utan þessi hefðbundnu jarðgöng hér á landi eru margir möguleikar á að útbúa frekar neðanjarðarmannvirki í ýmsum tilgangi en að byggja mannvirki uppi á yfirborði jarðar til að þjóna sama tilgangi. Í flestum tilfellum er neðanjarðarmannvirkið ódýrara og fer ekki illa í um-



6. mynd. Jarðgangaborvél heilborar lárétt og hallandi jarðgöng. Brothjólin framan á borkrónunni rúlla hring eftir hring á stafni ganganna og flísa stöðugt úr berginu. Slík vél um 5,4 m í þvermál verður sennilega notuð við gerð aðrennslisganga Fljótsdalsvirkjunar.

hverfinu.

Hér getur verið um að ræða alls kyns geymslur, t.d. fyrir ýmis konar vökva, svo sem heitt og kalt vatn eða olíu. Frysti- og kæligeymslur er kjörið að hafa neðanjarðar. Einnig almannavarnaskýli, sem nýta má sem íþróttasalí eða sundlaugar á friðartímum.

Dæmi um mögulegan stað fyrir olíugeymslu í bergi gæti verið við Miðsand í Hvalfirði, þar sem nú eru stórir stálgeymar á yfirborði.

Í nágrenni Reykjavíkur er sennilega besta jarðgangabergið í fellunum í Mosfellsbæ. Ýmsu mætti koma fyrir inni í Úlfarsfelli, t.d. heitavatsgeymum fyrir Hitaveitu Reykjavíkur, í staðinn fyrir að reisa stáltanka á yfirborði eins og á Grafarholti. Vatnsveitan gæti einnig haft geymi inni í Úlfarsfelli. Þar gæti einnig verið frystigeymslur fyrir kjöt og fisk, kæligeymslur fyrir karföflur og grænmeti o.fl. matarkyns, vinkjallara fyrir ÁTVR. Þá mætti setja þarna sundlaug og íþróttasal, sem gætu nýst sem almannavarnabyrgi ef kjarnorkustyrjöld skellur á. Þá væru inni í fjallinu nægar vatns- og matarbirgðir, þ.á.m. nóg af sjóðheitu vatni, svo sjóða mætti kjötsúpu úr kjötfjallinu í heita pottinum í sundlauginni, líkt og Fjalla Eyvindur gerði á Hveravöllum.

TAFLA 2: Helstu möguleg virkjanagöng á Íslandi.

	Lengd	Þvermál
<b>Norðausturland:</b>		
Fljótsdalur (A)	40 km	5-6 m
Jökulsá á Dal (B)	30 km	8-9 m
Jökulsá á Fjöllum (B)	12 km	6 m
<b>Suðurland:</b>		
Efri Hvítá (B)	10-16 km	6-7 m
Efri Þjórsá (B)	7-8 km	7 m
Vatnsfell (A)	4-5 km	8 m
Búðarháls (B)	4 km	8 m
Sultartangi (A)	3 km	8-11 m
Markarfljót (C)	10-15 km	6 m
Skaftá/Hverfisfljót (C)	10-15 km	7-8 m
<b>Norðurland:</b>		
Jökulsár í Skagafirði (B)	10 km	6-7 m
Skjálfafljót (C)	10 km	6-7 m
<b>Virkjanagöng alls:</b>	<b>150-200 km</b>	

- A) Útboðsstig  
 B) 2-4 ár til útboðsstigs  
 C) > 4 ár til útboðsstigs

## 6. Áhrif lækkaðs jarðgangaverðs á virkjanir

Stórlækkað verð á jarðgöngum undanfarin ár veldur því að nauðsynlegt er að endurskoða fyrirkomulag mannvirkja í flestum virkjanakostum, sem gerðar hafa verið áætlanir um á undanförunum árum. Vegna þess hve hátt verð hefur verið reiknað á jarðgöng, hafa menn reynt að stytta þau eins og mögulegt hefur verið en leiða vatnið þess í stað í skurðum á yfirborði og jafnvel að sleppa við að nýta allt mögulegt fall á virkjunarstaðnum. Einnig hafa menn sleppt mögulegum veitum inn á virkjunarsvæðið vegna kostnaðar.

Þetta lægra jarðgangaverð leiðir því til þess að ekki er aðeins endurskoðaður aðalvatnsvegur virkjunarinnar á þann veg að skurðir styttest og göng lengjast og fall jafnvel eykst, heldur mun í mörgum tilfellum bætast við verulegt viðbótarvatn til virkjunarinnar vegna aukinna veitna. Þannig munu margir þessara virkjunarkosta stækka að mun.

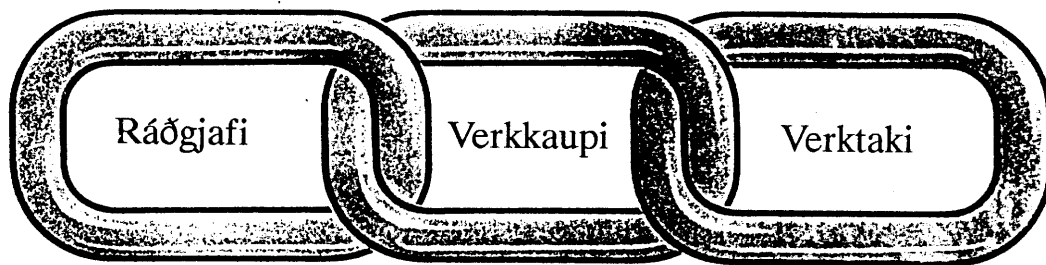
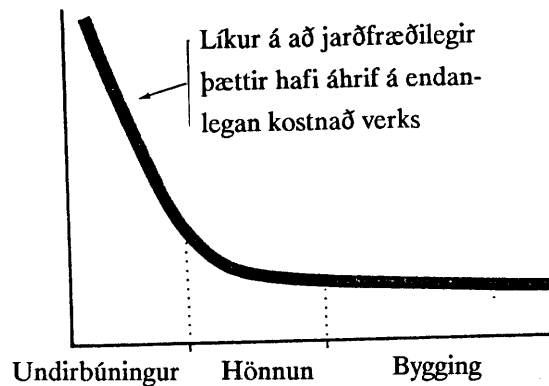
Helstu virkjunarsvæði sem gætu tekið breytingum, bæði aðalvatnsvegir og viðbótarveitur, eru:

- Fljótsdalsvirkjun.
- Efri Þjórsá
- Jökulsá á Dal
- Jökulsá á Fjöllum
- Jökulsárnar í Skagafirði
- Vatnsfellsvirkjun
- Hvítá í Árnassýslu
- Markarfljót
- Skaftá-Hverfisfljót

Skjálfandafljót.

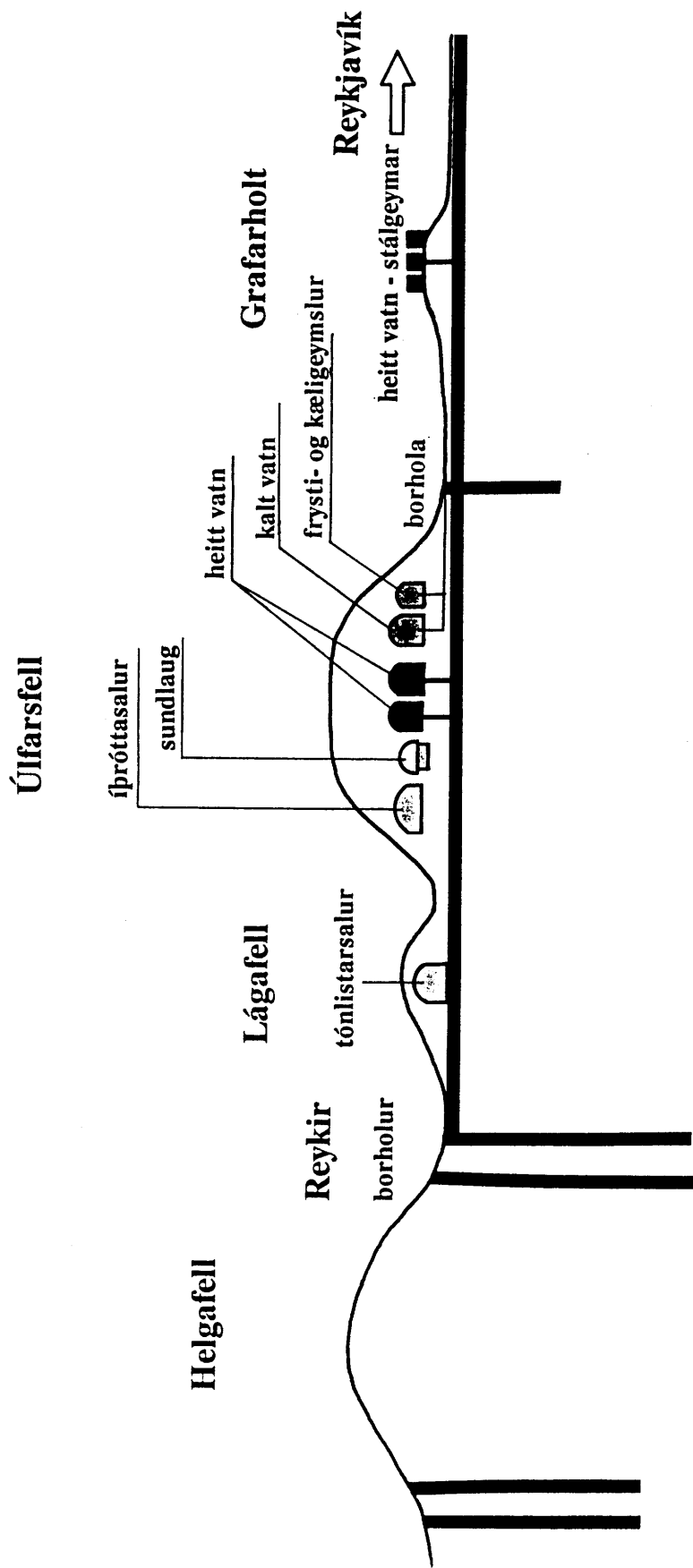
## 7. Niðurstöður

1. Jarðgöng eru ekki lengur neyðarúrræði á Íslandi, heldur ætíð raunverulegur valkostur.
2. Íslendingar hafa verið hræddir við jarðgangagerð allt fram á síðustu ár, en eru það ekki lengur.
3. Við jarðgangagerð á Íslandi hefur yfirleitt verið beitt nýjustu tækni, eftir því sem stærð verksins hefur leyft.
4. Með aukinni tækni og reynslu hefur jarðgangaverð snarlækkað síðan 1984, e.t.v. um allt að helming.
5. Því þarf að endurskoða flestar virkjunarhugmyndir á landinu, með það í huga að stytta skurði og lengja jarðgöng. Verður þetta sennilega eitt aðalverkefni í virkjanageiranum á næstu árum. Einnig kynnu að bætast við veitur, sem ekki voru hagkvæmar áður, þ.e. margar af virkjununum gætu stækkað.
6. Kanna þarf vel aðstæður á jarðgangaleiðunum, ekki aðeins jarðlagaskipan, heldur einnig tæknilega eiginleika jarðlaganna til gangagerðar.



7. mynd. Nauðsynlegt er að nægilegar undirbúningsrannsóknir fari fram áður en ráðist er í endanlega hönnun og byggingu virkjunar. Ýmsir jarðfræðilegir þættir hafa áhrif á endanlegan kostnað verksins, eins og sést á þessari mynd frá Svíþjóð. Þar er jafnframt sýnt, að nauðsynlegt er að vitneskja fái stund áður en til hönnunar kemur, til að hún hafi áhrif á kostnaðinn.





Sjá skýringar neðst á bls. 7.