

Sp. 645. Tillaga til þingsályktunar [260. mál]

um skipulega rannsókn háhitasvæða landsins og nýtingu þeirra til iðnaðar og orkuvinnslu.

(Lögð fram á 105. löggjafarþingi 1982—83.)

Með vísun til þingsályktunar frá 19. maí 1981 og skýrslu Orkustofnunar frá október 1982 um skipulegar rannsóknir á háhitasvæðum ályktar Alþingi eftirfarandi:

1. Aukin áhersla verði lögð á rannsókn háhitasvæða landsins á næstu tíu árum með það að markmiði að velja megi með viðunandi öryggi milli virkjunarstaða. Jafnframt verði könnuð með skipulegum hætti hagkvæmni þess að nýta jarðhitann til iðnaðar, hitaveitna og orkuvinnslu. Við rannsóknir og framkvæmdir verði jafnan höfð hliðsjón af umhverfissjónarmiðum.
Áhersla verði lögð á rannsókn þeirra háhitasvæða, sem liggja nærri byggð og hafnaraðstöðu.
2. Á umræddu 10 ára tímabili er áætlað að verja allt að 500 millj. kr. á verðlagi í september 1982 til rannsókna og framkvæmda samkvæmt þingsályktun þessari.
Miðað skal í upphafi við að rannsókn tveggja virkjunarstaða verði komin á verkhönnunarstig að sex árum liðnum og tveir virkjunarstaðir til viðbótar geti verið komnir á sama stig að tíu árum liðnum. Áætlunina skal endurskoða með hæfilegu bili með hliðsjón af athugunum á nýtingarmöguleikum. Stefnt verði að því að koma á samstarfi milli ríkisins og orkuvinnsluaðila um framkvæmd áætlunarinnar og skiptingu kostnaðar.
3. Unnið verði að þróun og endurbótum á bortækni til að draga úr kostnaði við rannsókn háhitasvæða.
4. Sérstök ráðgjafanefnd á vegum iðnaðarráðuneytisins hafi eftirlit með áætlunargerð og framkvæmdum og undirbúi tillögur þar að lútandi, m. a. um fjárveitingar. Nefndin leitist við að tryggja sem best hagnýt not af rannsóknum í samvinnu við þá aðila sem fjalla um orkuvinnslu og orkunýtingu.

Athugasemdir við þingsályktunartillögu þessa.

1. Inngangur.

Hinn 19. maí 1981 samþykkti Alþingi tillögu til þingsályktunar, þar sem segir m. a.:

„Alþingi ályktar að fela ríkisstjórninni að láta gera heildaráætlun um og framkvæma rannsóknir á háhitasvæðum landsins, þannig að virkjunarstaðir á tveim háhitasvæðum verði á verkhönnunarstigi að fimm árum liðnum og fimm háhitasvæðum að tíu árum liðnum.

Tillagan miðast við það meginmarkmið að Íslendingar eigi nokkra álitlegustu virkjunarstaðina frumhannaða þegar tækifæri bjóðast til hagkvæmrar nýtingar.“

Í framhaldi af þessari ályktun Alþingis fól iðnaðarráðuneytið Orkustofnun að gera áætlun um rannsókn háhitasvæða, í samræmi við ályktunina. Skýrsla um það barst ráðuneytinu í lok októbermánaðar 1982¹⁾. Hefur hún síðan verið til nánari athugunar innan Orkustofnunar og hjá ráðuneytinu. Þingsályktunartillaga þessi er m. a. byggð á niðurstöðum þeirra athugana.

Í þingsályktunartillögu þessari er gert ráð fyrir heldur minni hraða í rannsóknum á sjálfum háhitasvæðunum en samþykkt Alþingis frá 1981 gerði ráð fyrir. Hins vegar felur þessi tillaga í sér rannsóknir á nýtingarmöguleikum háhitans og þróun bortækni til að draga úr rannsóknarkostnaði á háhitasvæðum.

2. Orka íslenskra háhitasvæða og nýting hennar.

2.1 Háhitasvæði á Íslandi.

Á Íslandi eru nú þekkt 28 háhitasvæði, en svo eru þau jarðhitasvæði nefnd þar sem hitastig á 1000 m dýpi er 150°C eða hærra. Mynd 1 sýnir legu háhitasvæðanna. Ljóst er að orka háhitasvæðanna er mjög stór auðlind ef unnt er að finna markað fyrir varmann sem getur greitt nokkru hærra verð fyrir hann en sem nemur vinnslu- og flutningskostnaði.

Ekki eru öll háhitasvæðin jafnáhugaverð til nýtingar. Þannig liggur annað stærsta háhitasvæði landsins að því er tekur til varmaforða berggrunnins, Grímsvötn, undir mörg hundruð metra þykkum jökli. Mörg þeirra eru í óbyggðum, fjarri mannabyggð, og eru naumast nýtanleg til annars en raforkuvinnslu vegna þess að mun dýrara er að flytja varma um langan veg en t. d. rafmagn, olíu og kol, og jarðhita er því ekki hagkvæmt að nýta lengra frá uppsprettu en fáa tugi kílómetra, nema vinna raforku úr honum fyrst. En raforkuvinnsla með jarðhita er þeim annmarka háð að ekki er unnt að breyta nema svo sem tíunda hluta varmans í raforku.

Áhugaverðust eru að öðru jöfnu háhitasvæði í grennd við þéttbýli og höfn. Af íslenskum háhitasvæðum eru það svæðin á Reykjanesskaganum ásamt Hengli og Þeistareykjum sem svo er ástatt um. Svæðið í Öxarfirði er nærri sjó, en nokkuð langt er þaðan í þéttbýli og höfn.

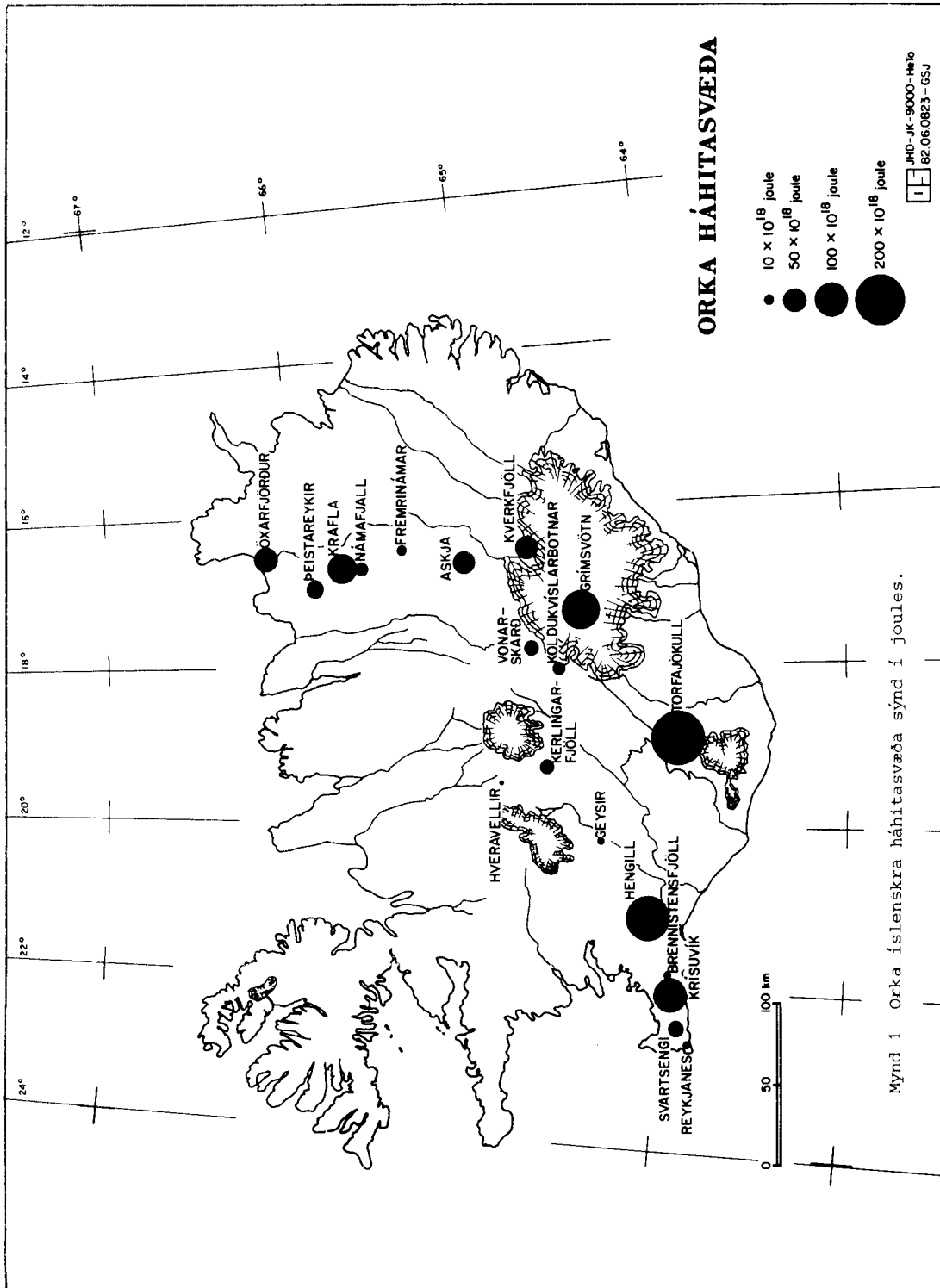
Með hliðsjón af þessu er lagt til í skýrslu Orkustofnunar, fskj. 2, að höfuðáherslan í háhitarannsóknunum næstu sex árin verði á þeim háhitasvæðum sem talin voru, þ. e. á Reykjanesskaganum og Þeistareykjum. Í ályktun Alþingis frá 1981 er einnig gert ráð fyrir að þessi svæði hafi forgang.

2.2 Markaður fyrir háhitaorku.

Í ályktun Alþingis frá 19. maí 1981 er ekki fjallað um nýtingu orkunnar frá háhitasvæðunum. Í samræmi við það tekur skýrsla Orkustofnunar frá október 1982 fyrst og fremst til nauðsynlegra rannsókna á háhitasvæðunum sjálfum, en lítið er fjallað um rannsóknir varðandi nýtingu orkunnar, enda hafa þær verið fyrst og fremst í höndum annarra stofnana svo sem Iðntæknistofnunar. Í einum kafla skýrslunnar er þó fjallað sérstaklega um möguleika á nýtingu háhitasvæðanna.

Árið 1981 notuðu Íslendingar jarðhita sem svarar til 470 000 tonna af olíu. Langmest fór til húshitunar. Sá varmi var að mestu unninn á lágghitasvæðum. Þrjár hitaveitur, Hitaveita Suðurnesja, Hitaveita Reykjahlíðar og Hitaveita Hveragerðis, nota háhitavarma, allar aðrar lágghitavarma. Á því ári var háhitavarmi auk þess notaður til iðnaðar í Kísiliðjunni við Mývatn (jafngildi um 16 000 tonna af olíu) og til raforkuvinnslu í Kröflu og Svartsengi (123 GWh af raforku).

¹⁾ Áætlun um skipulegar rannsóknir á háhitasvæðum landsins. OS 82093/JHD13. Okt. 1982 og fylgir úrdráttur úr henni með tillögnum, fskj. 2.



Íslendingar hafa verið í fararbroddi í notkun jarðhita til húshitunar og iðnaðar. Víðast hvar erlendis þar sem jarðhiti hefur verið virkjaður er unnin úr honum raforka og sú leit að jarðhita sem fram fer nú víða um lönd beinist með fáum undantekningum að því að finna gufu er nota megi til raforkuvinnslu. Hér á landi eigum við gnægð hagkvæmrar vatnsorku til að framleiða rafmagn úr, og nýlegar athuganir sem Orkustofnun hefur gert benda ekki til að jarðgufustöðvar sem reistar eru í þeim tilgangi einum að vinna raforku (eins og t. d. Krafla) verði samkeppnishæfar við vatnsaflsstöðvar. Þó fer þetta nokkuð eftir hitastigi og vinnslueiginleikum jarðhitasvæðanna ásamt fleiru, þannig að varasamt er að alhæfa nokkuð í þessu efni. Allt öðru máli gegnir þar sem raforkuvinnslan fer fram í tengslum við annarskonar nýtingu jarðhitans, svo sem til húshitunar (Svartsengi). Slík samvinnsla á raforku og varma getur verið mjög hagkvæm. Samskonar samvinnsla í tengslum við iðnaðarnotkun jarðhitans er vel hugsanleg, t. d. í saltverksmiðjunni á Reykjanesi.

Húshitun er hinn hefðbundni markaður fyrir jarðhita hér á landi, og því eðlilegt að hugað sé að honum fyrst þegar rætt er um nýtingu á varma háhitasvæðanna. Í grennd við háhitasvæðin á Reykjaneskaganum er slíkan markaður fyrst og fremst að finna á höfuðborgarsvæðinu (Hitaveita Reykjavíkur, Hitaveita Seltjarnarness); á Suðurnesjum (Hitaveita Suðurnesja) og í litlum mæli austan fjalls (Hveragerði, Selfoss, Þorlákshöfn, þar sem þó líklega er nóg af lághita). Hitaveita Reykjavíkur hefur einnig haft áhuga á nýtingu háhitans á Nesjavöllum og látið rannsaka það svæði nú í langan tíma. Nesjavellir eru hluti af háhitasvæðinu í Henglinum. Annar hluti Hengilsins sem áhugaverður er fyrir Reykjavík er svæðið umhverfis Kolviðarhól, og mun Hitaveita Reykjavíkur einnig hafa haft augastað á því, þótt litlar rannsóknir hafi enn farið þar fram. Bæði Nesjavellir og Kolviðarhóll eru eign Reykjavíkurborgar.

Á Suðurnesjum er allur varmi til húshitunar unninn úr háhitasvæðinu við Svartsengi, sem kunnugt er, og nú eru rannsóknir hafnar á vegum Hitaveitu Suðurnesja og Landsvirkjunar á öðru háhitasvæði, Eldvörpum.

Möguleikar til að nýta háhitavarma til húshitunar á höfuðborgarsvæðinu og Suðurnesjum eru því nokkrir. Með hliðsjón af því telur ráðuneytið eðlilegt að samvinna verði höfð við hitaveiturnar í Reykjavík og á Suðurnesjum um þær rannsóknir sem tillaga þessi fjallar um.

Á Reykjanesi fer nú fram tilraunavinnsla á salti, og ákveðið er að reisa þar saltverksmiðju, sem framleiði 8 000 tonn á ári í fyrstu, með stækkun síðar í huga. Þar er því um það bil að hefjast nýting háhitaorku til iðnaðar í stórum stíl á okkar mælikvarða, og er saltverksmiðjan annað fyrirtækið af því tagi sem reist er hér á landi. Hitt er Kísiliðjan við Mývatn.

Margir iðnaðarkostir hafa verið til athugunar undanfarin ár á vegum iðnaðarráðuneytisins, þar sem gert er ráð fyrir nýtingu háhitaorku. Þar sem nauðsynlegt er að slíkur iðnaður sé nærri góðri höfn og vegna þess að nálægð við þéttbýli getur ráðið úrslitum um hagkvæmni hans, koma varla önnur háhitasvæði til greina í því sambandi en svæðin á Reykjanesi, í Hengli og á Peistareykjum. Ekki hefur sérstaklega verið hugað að vinnslu raforku í tengslum við þessa iðnaðarkosti, en sjálfsagt virðist að gera það þegar athugun þeirra er lengra komin.

Sem fyrr segir benda athuganir til að jarðgufurafstöðvar muni eiga erfitt með að standast samkeppni við vatnsaflsstöðvar hér á landi. Ástæða er til að kanna nánar hagkvæmni jarðgufurafstöðva til raforkuframleiðslu. Af þeim sökum og vegna hugsanlegrar samvinnslu á raforku og varma til húshitunar eða iðnaðar telur ráðuneytið eðlilegt að samvinna verði höfð við Landsvirkjun um framkvæmd þessarar áætlunar.

Niðurstaða er því sú, að um þrennskonar markað geti verið að ræða fyrir orku íslenskra háhitasvæða á næstu árum:

1. Til hitaveitna, eftir atvikum með samvinnslu á raforku.
2. Til iðnaðarnota, eftir atvikum með samvinnslu á raforku.
3. Til raforkuvinnslu einnar sér.

Markað skv. lið 1 og 3 er fyrst og fremst að finna á höfuðborgarsvæðinu og á Suðurnesjum, en skv. lið 2 á sömu slóðum svo og á Húsavík.

Nýting háhitavarma undir liðnum 1 og 3 styðst við meira eða minna þróaða tækni. Íslendingar hafa átt umtalsverðan þátt í að þróa tækni til að nýta háhita til hitaveitna, með tilraunum Orkustofnunar í Svartsengi og í framhaldi af þeim hönnun og smíði varmaorkuvers þar á vegum Hitaveitu Suðurnesja.

Tilraunir hafa einnig farið fram á Nesjavöllum á vegum Hitaveitu Reykjavíkur.

Nýting varma skv. lið 2, til iðnaðar, styðst oft við hefðbundna tækni og iðnferli, t. d. gufuburrkun á fiskimjöli eða skreið, en að öðru leyti verða að koma til ferli sem eru sérstaklega gerð með tilliti til jarðgufu. Dæmi um slíkt eru Kísiliðjan við Mývatn, og Sjóefnavinnslan á Reykjanesi. Í báðum tilvikum hafa íslenskir hönnuðir átt mikinn hlut að máli. Margir fleiri iðnaðarkostir hafa einnig verið kannaðir meira og minna á undanförunum árum, en ráðuneytið telur að þar sé þörf á samstilltu átaki í framtíðinni.

2. 3 *Þróun bortækni.*

Boranir eru langstærsti kostnaðarþáttur undirbúningsrannsókna á háhitasvæðum. Rannsóknaboranir nema um 36% og reynsluboranir 56% af kostnaði við forathugun og frumhönnun á virkjunarstað skv. skýrslu Orkustofnunar fskj. 2. Til allra annarra þátta fara innan við 10% kostnaðar.

Með skipulegum rannsóknum er eðlilega að því stefnt að auka árangur þeirra með lægri tilkostnaði. Þar sem boranir eru stærsti kostnaðarþáttur rannsóknanna og stór hluti virkjunarkostnaðar, væri mestur ávinningur að ódýrari boraðferðum til að ná jafngildum rannsóknarniðurstöðum eða framförum í mælingum, sem gætu sparað boranir, og gera þær markvissari. Verulegar framfarir hafa orðið á sviði borholumælinga.

Minna hefur verið gert til að þróa bortækni og yfirleitt eru boraðar venjulegar vinnsluholur í rannsóknaskyni. Þarna er mikilvægt verkefni að vinna. Margt má læra af erlendum aðilum en stærsta hluta vandans verða Íslendingar að leysa sjálfir með aðlögun nýrrar tækni að íslenskum aðstæðum og tilraunum. Að ýmsu leyti eru skilyrði hér á landi hagstæð til að hagnýta tækninýjungar og má þar sem dæmi nefna langa reynslu í jarðhitaborunum við margvíslegar aðstæður. Framfarir í bortækni, sem lækkuðu borkostnað um aðeins 10%, gætu sparað álíka kostnað og falinn er í allri vinnu sérfræðinga Orkustofnunar við rannsókn háhitasvæða.

Með tillögunni fylgja hér á eftir 2 fylgiskjöl:

- 1) Samanburður á varmaafli og rafafli háhitaholu.
- 2) Úrdráttur úr skýrslu Orkustofnunar. Áætlun um skipulegar rannsóknir á háhitasvæðum landsins.

IDNADARRÁÐUNEYTIÐ

Fylgiskjal 1

Samanburður á varmaafli og rafafli háhitaholu

Vatn með hita t kemur inn í holu. Varmaafli miðast við að nýta varma innrennslis niður að $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rafafli miðast við að gufa sé skilin frá vatni við $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ og varma í vatni hent.

$$h_{f\ 160} = 675,6\ \text{kJ/kg} ; h_{g\ 160} = 2758,1\ \text{kJ/kg} ; h_{f\ 40} = 167,6\ \text{kJ/kg}$$

$$\text{Varmaafli } (t > 40\text{ }^{\circ}\text{C}) = h_f - h_{f\ 40} \cdot 10^{-3}\ \text{MW/(kg/s)}$$

$$\text{Rafafli } (t > 160\text{ }^{\circ}\text{C}) = \frac{(h_f - h_{f\ 160})}{(h_{g\ 160} - h_{f\ 160})} \cdot \frac{1}{2,22}\ \text{MW/(kg/s)}$$

t $^{\circ}\text{C}$	h_f kJ/kg	Varmaafli ($t > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$) MW/(kg/s)	Rafafli ($t > 160\text{ }^{\circ}\text{C}$) MW/(kg/s)	V/R
240	1037	0,87	0,0782	11,1
270	1185	1,02	0,1102	9,3
300	1344	1,18	0,1446	8,2
330	1525	1,36	0,1837	7,4
360	1761	1,59	0,2348	6,8

Dæmi:	Magn	Varmaafli	Rafafli	V/R
$t = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$	kg/s	MW	MW	
$h_f = 1344\ \text{kJ/kg}$	10	11,8	1,45	8,2
	20	23,6	2,89	8,2
	30	35,4	4,34	8,2
	40	47,2	5,78	8,2
	50	59,0	7,23	8,2


 ORKUSTOFNUN

F y l g i s k j a l 2

Úrdráttur úr skýrslu ORKUSTOFNUNAR
"Áætlun um skipulegar rannsóknir
á háhitasvæðum landsins"

OS82093 / JHD13

Október 1982

 **ORKUSTOFNUN**

Dags.
1982.10.29.
Dags.

Tilv. vor
JB/GP/SV
Tilv. yðar

Iðnaðarráðuneytið
Arnarhvoli
101 Reykjavík

Með bréfi dags. 14. september 1981 fól iðnaðarráðuneytið Orkustofnun að láta gera heildaráætlun um rannsóknir á háhitasvæðum landsins í samræmi við "Þingsályktun um skipulegar rannsóknir á háhitasvæðum landsins", er samþykkt var á Alþingi 19. maí 1981. Áætlun þessari er nú lokið og sendist hún ráðuneytinu hér með.

Áætlunin er unnin á jarðhitadeild Orkustofnunar, þar sem settur var á fót vinnuhópur í þessu skyni. Í honum voru dr. Valgarður Stefánsson deildarstjóri (formaður), Gestur Gíslason jarðfræðingur, dr. Helgi Torfason jarðfræðingur, Lúóvík S. Georgsson jarðeðlisfræðingur, Stefán G. Sigurmundsson rekstrarstjóri og Sverrir Þórhallsson verkfræðingur.

Athugaðar voru tvær leiðir til að ná settum markmiðum. Annars vegar leið sem gerir ráð fyrir, að tveir virkjunarstaðir verði á verkhönnunarstigi að fimm árum liðnum í samræmi við markmið þingsályktunarinnar; hins vegar nokkru hægari leið, sem hefur í för með sér jafnari nýtingu á mannafla og fjármagni frá ári til árs. Síðari leiðin er talin heppilegri til lengri tíma litið, og samkvæmt henni verða tveir virkjunarstaðir á verkhönnunarstigi að sex árum liðnum, og síðan tveir nýir virkjunarstaðir á þriggja ára fresti. Þessi síðari leið er sú, sem Orkustofnun hefur gert ráð fyrir í nýlegri langtímaáætlun sinni um orkurannsóknir.

Kostnaður og mannaflapörf eru áætluð sem hér segir; kostnaðurinn annarsvegar á verðlagi 1. mars 1982 (byggingarvísitala 909) og hinsvegar á núverandi verðlagi (byggingarvísitala 1331). Allar kostnaðartölur í sjálfri skýrslunni miðast við fyrrnefnda verðlagið (bv 909).

Helmitilfang	Nafnnúmer	Sími	Símnefni	Banki	Hlaugar.
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík	6901-3058	8 36 00	Orkustofnun	L.Í. Austurbæjarútibú	4669

 ORKUSTOFNUN

<u>Kostnaður:</u>	<u>Hægari leið</u>		<u>Hraðari leið</u>	
Byggingarvísitala	909	1331	909	1331
Heildarkostnaður, Mkr.	326	477	344	504
Árlegur kostnaður að meðaltali, Mkr.	54	80	69	101

Mannaflapörf:

Ársverk í heild	101	125
Ársverk á ári, að meðaltali	17	25

Lagt er til að hægari leiðin verði valin, og þá stefnt að því að tveir virkjunarstaðir verði komnir á verkhönnunarstig að sex árum liðnum.

Allra virðingarfyllst,



Jakob Björnsson
orkumálastjóri



Guðmundur Pálmason
forstjóri jarðhitadeildar

ÁGRIP

Nýtingarmöguleikar háhitasvæða eru margvíslegir, og talið er að vænlegustu möguleikarnir séu í iðnaði. Þegar jarðhiti er notaður sem varmi getur hann orðið 5-10 sinnum ódýrari en olía eða raforka. Orkunýtni til raforkuframleiðslu er lág á háhitasvæðum, og hverfur þá hið mikla forskot sem jarðhiti hefur fram yfir önnur orkuform. Það þarf t.d. 600 MW varmavinnslu (sambærilegt við Hitaveitu Reykjavíkur) til að skila 60 MW raforkuframleiðslu (Krafla í fullum afköstum). Þar sem vatnsafl á Íslandi er talið tiltölulega ódýrt er raforkuframleiðsla á háhitasvæðum strangasta fjárhagslega viðmiðun sem hægt er að setja á nýtingu háhitasvæða, og því ekki þess að vænta að neinn verulegur ávinningur sé í þess konar nýtingu í samkeppni við vatnsafl.

Rannsókn háhitasvæða má skipta í þrjá megináfanga: forathugun, forhönnun og verkhönnun. Tveim fyrri áföngunum má skipta í 15 verkþætti. Áætlun um rannsókn háhitasvæða nær til þessara verkþátta, þ.e. til rannsókna á forathugana- og forhönnunarstigi.

Kostnaður við rannsóknir fer stighækkandi eftir því sem rannsókn miðar áfram þannig að í stórum dráttum tífaldast kostnaður frá einum áfanga til annars. Það er því hagkvæmt að rannsaka allmarga kosti á fyrri stigum rannsókna til þess að hægt sé að velja þá heppilegustu til áframhaldandi rannsókna. Í áætlun um rannsókn háhitasvæða er gert ráð fyrir að við hverja ákvarðanatöku um framhald rannsókna séu 1,5 sinnum fleiri möguleikar að velja úr en þeir sem rannsókn er haldið áfram á. Þessi aðferð er talin skynsamlegur meðalvegur þegar metin er saman áhætta og kostnaður við rannsóknir.

Þegar sett er upp forgangsörð um rannsókn íslenskra háhitasvæða er eðlilegt að taka fyrst og fremst tillit til legu svæðanna með tilliti til byggðar og fyrirsjáanlegra nýtingarmöguleika. Eru háhitasvæðin á Reykjaneskaga og Norðausturlandi auk Torfajökuls látin hafa forgang fram yfir önnur háhitasvæði. Til þess að halda samfellu í rannsókn háhitasvæða er einnig gert ráð fyrir að fyrsta stig í jarðhitarannsóknnum verði gert á nokkrum öðrum svæðum. Er það nauðsynlegt vegna ákvarðanatöku um frekari rannsóknir á árunum 1990-2000.

Nú þegar er hægt að taka ákvörðun um verkhönnun í Hveragerði. Ákvörðun um forhönnun er hægt að taka á Nesjavöllum og á Reykjanesi. Árið 1983 er hægt að hefja rannsóknarboranir í Eldvörpum, Trölladyngju, við Sveifluháls, í Vestur-Hengli, í Hveradölum, við Ölkelduháls, við Hverarönd og á Þeistareykjum. Jarðhitasvæðin við Torfajökul og í Öxarfirði eru ennþá á stigi yfirborðsrannsókna. Svo til engar

rannsóknir hafa verið gerðar við Sandfell, í Brennisteinsfjöllum, í Kerlingarfjöllum, við Blautukvísl, í Köldukvíslarbotnum, við Hnúthálsa og Fremrináma.

Í áætlun um rannsókn háhitasvæða eru tvær leiðir athugaðar. Annars vegar er rannsóknarhraði miðaður við að tveir virkjunarstaðir verði á verkhönnunarstigi að fimm árum liðnum. Hins vegar er athuguð heldur hægari leið, þ.e. að tveir virkjunarstaðir komist á verkhönnunarstig að sex árum liðnum, en síðan komist tveir virkjunarstaðir á verkhönnunarstig á þriggja ára fresti. Í nýlegri langtímaáætlun Orkustofnunar er gert ráð fyrir, að síðari leiðin verði valin. Eftirfarandi tafla sýnir kostnað og mannaflapörf við þessar tvær leiðir.

Jafn rannsóknahr.

	Tveir virkj.st. á 5 árum Hraðari leið	Tveir virkj.st. eftir 6 ár Hægari leið
Áætlaður heildarkostnaður, Mkr.	343.686	326.163
Áætlaður árlegur kostnaður, Mkr.	69	54
Mannaflapörf í heild - ársverk	125	101
Mannaflapörf - ársverk á ári	25	17

Kostnaður er miðaður við verðlag í mars 1982, en þá var byggingarvísitala 909 stig.

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	
1 INNGANGUR	
2 NÝTINGARMÖGULEIKAR HÁHITASVÆÐA	
3 ÁFANGASKIPTING OG RANNSÓKNARÞETTIR	
3.1 Áfangaskipting	
3.2 Rannsóknarþettir	
4 RANNSÓKNARHRAÐI - SAMANBURÐUR SVÆÐA VIÐ ÁKVARÐANATÖKU	
5 FORGANGSRÖÐ SVÆÐA	
6 STAÐA RANNSÓKNA	
6.1 Háhitasvæði landsins	
7 MEÐALKOSTNAÐUR VIÐ RANNSÓKN Á EINUM VIRKJUNARSTAÐ	
8 ÆTLUN UM KOSTNAÐ OG MANNAFLA	
8.1 Tveir virkjunarstaðir eftir fimm ár	
8.2 Tveir virkjunarmöguleikar eftir sex ár. Jafnvægi í mannafla og fjárhörf	
9 HELSTU NIÐURSTÖÐUR	
HEIMILDASKRÁ	
VIÐAUKI EININGARVERÐ NOTUÐ Í ÆTLUN	

TÖFLUSKRÁ

- 6 Kostnaðaráætlun fyrir forathugun og forhönnun einstakra virkjunarstaða.....
- 7 Yfirlit um rannsókn háhitasvæða miðað við að tveir virkjunarstaðir komast á verkhönnunarstig í árslok 1987.....
- 8 Kostnaður og mannaflaskipting miðað við að tveir virkjunarstaðir komast á verkhönnunarstig í árslok 1987.....
- 9 Skipting mannafla í mánaðarverk miðað við að tveir virkjunarstaðir komist á verkhönnunarstig í árslok 1987.....
- 10 Áætlun um rannsóknir á háhitasvæðum 1983-1987 - Yfirlit, ef tveir virkjunarstaðir komast á verkhönnunarstig í árslok 1988.....
- 11 Kostnaður og mannaflaskipting 1983-1989 miðað við að tveir 3 virkjunarstaðir komist á verkhönnunarstig í árslok 1988.....
- 12 Skipting mannafla í mánaðarverk 1983-1989 miðað við að tveir virkjunarstaðir komist á verkhönnunarstig í árslok 1988.....

MYNDASKRÁ

1	Orka íslenskra háhitasvæða.....
2	Gasolíunotkun til húshitunar 1972-1981.....
3a)	Notkunarhitastig - Hlutföll notkunar og hitastigs í iðnaði og húshitun í Bandaríkjunum.....
3b)	Notkunarhitastig jarðvarma - Nokkur dæmi.....
4	Vinnsluferlar nokkurra borhola á íslenskum háhitasvæðum.....
5	Áfangaskipting og rannsóknarþættir í virkjunarundirbúningi á háhitasvæðum.....
6	Samanburður virkjunarstaða við ákvarðanatöku um framhald rannsókna.....
7	Staða rannsókna á háhitasvæðum á Íslandi í mars 1981.....
8	Háhitasvæði á Íslandi.....
10	Jarðhitasvæðið á Reykjanesi.....
12	Jarðhitasvæðin í Svartsengi og Eldvörpum.....
14	Jarðhitasvæðin í Krísvík.....
16	Jarðhitasvæðin í Hengli.....
18	Ljósmynd frá Torfajökulssvæðinu.....
19	Jarðhitasvæðin við Torfajökul.....
21	Ljósmynd frá Námafjallssvæðinu.....
22	Jarðhitasvæðin við Námafjall.....
24	Þeistareykjasvæði.....
26	Jarðhiti í Öxarfirði.....
30	Staða rannsókna á 20 virkjunarstöðum og háhitasvæðum.....
31	Ljósmynd frá Leirhnúk.....

- 32 Skipting kostnaðar við forathugun og forhönnun á einum virkjunarstað
- 33 Skipting mannafla við forathugun og forhönnun á einum virkjunarstað.....
- 34 Áætlaður árlegur kostnaður og heildarkostnaður við forathugun og forhönnun á einum virkunarstað
- 35 Skipting kostnaðar við forathugun og forhönnun á tveim virkjunarstöðum þegar gert er ráð fyrir að 1,5 fleiri möguleikar séu ávallt rannsakaðir á fyrri rannsóknarstigum.....
- 36 Skipting mannafla við forathugun og forhönnun á tveimur virkjunarstöðum þegar gert er ráð fyrir að ávallt séu 1,5 fleiri möguleikar rannsakaðir á fyrri rannsóknarstigum.....
- 37 Áætlaður árlegur kostnaður og heildarkostnaður við forathugun og forhönnun á tveimur virkjunarstöðum þegar gert er ráð fyrir að 1,5 fleiri möguleikar séu ávallt rannsakaðir á fyrri rannsóknarstigum.....
- 38 Rannsókn á 17 virkjunarstöðum og háhitasvæðum..
- 39 Ársverk og kostnaður við rannsóknir á háhitasvæðum miðað við að tveir virkjunarstaðir komist á verkhönnunarstig í árslok 1987.....
- 40 Ársverk og kostnaður við rannsóknir á háhitasvæðum miðað við að tveir virkjunarsvæði komist á verkönnunarstig í árslok 1987.....

1 INNGANGUR

Helstu auðlindir Íslands eru orka, gróðurlendi landsins og fiskistofnar í hafinu umhverfis landið. Það skiptir sköpum fyrir þjóðarbúið hvernig þessar auðlindir eru nýttar. Nú er svo komið að framleiðsla í íslenskum landbúnaði er meiri en markaðspörf, og fiskistofnarnir eru nýttir eins mikið og hægt er, og e.t.v. meira en hollt er. Hins vegar er nýting innlendrar orku innan við tíunda hluta þess sem hagkvæmt er talið að nýta. Það er því nokkuð ljóst að aðalaukningin í verðmætasköpun þjóðarinnar á næstu áratugum byggist á frekari nýtingu innlendra orkugjafa. Rannsóknir á íslenskum orkuauðlindum og nýtingarmöguleikum þeirra hljóta því að verða forgangsverkefni í náinni framtíð.

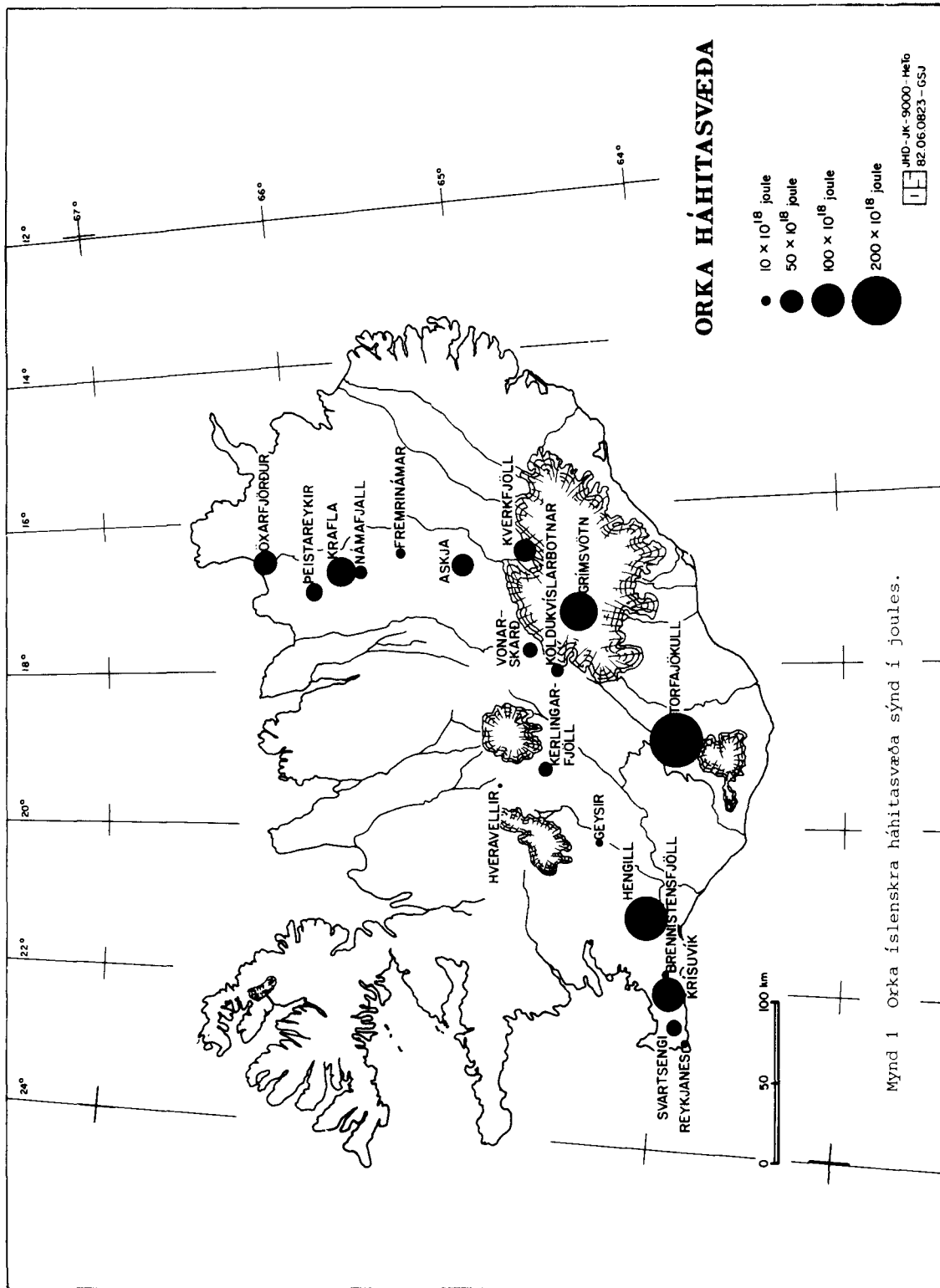
Innlendar orkulindir eru vatnsorka og jarðhiti. Nýtanleg vatnsorka landsins er talin vera $0,23 \times 10^{18}$ Joule á ári (64 Twh/ári; Haukur Tómasson 1981), en tæknilega vinnanlegur jarðvarmi er talinn vera 3500×10^{18} Joule (Guðmundur Pálmason 1981, Guðmundur Pálmason og fleiri 1982). Í háhitasvæðum landsins er orkan talin vera 100×10^{18} Joule í heild, og sýnir mynd 1 hvernig þessi orka er talin skiptast á milli svæða. Samsvarandi afl til raforkuframleiðslu er 7300 MW úr vatnsorku en 3500 MW úr háhitasvæðum.

Til þess að hægt sé að hefja skynsamlega nýtingu á háhitasvæðum þarf að liggja fyrir einhver vitneskja um auðlindina, t.d. hversu mikil orka er fyrir hendi, hverjir eru eiginleikar jarðhitakerfanna, hvaða hitastig er nýtanlegt, hverjir eru efnafræðilegir eiginleikar jarðhitavökvans o.s.frv. Hér greinir nokkuð á í jarðhitarannsóknum og vatnsorkurannsóknum vegna þess að jarðhitarannsóknir gera ráð fyrir fleiri nýtingarmöguleikum en vatnsorkurannsóknir. Þess vegna er ekki hægt að taka afstöðu til þess hvaða nýting á jarðhitasvæði er heppileg fyrr en vissar rannsóknir hafa farið fram, meðan vatnsorkurannsóknir miða eingöngu við raforkuframleiðslu.

Þessar aðstæður gera það að verkum að mun nauðsynlegra er í jarðhitarannsóknum en í vatnsorkurannsóknum að hafa marga kosti rannsakaða svo að hægt sé að velja skynsamlegan kost hverju sinni.

Nauðsyn þess að hafa nokkra virkjunarkosti rannsakaða hverju sinni hefur að vissu marki fengið hljómgrunn í vatnsorkurannsóknum en síður í jarðhitarannsóknum, þótt þörfin sé þar e.t.v. enn brýnni.

Eðli sínu samkvæmt taka jarðhitarannsóknir langan tíma, og í mörgum tilvikum er ekki hægt að meta nýtingarmöguleika fyrr en viss vitneskja er fyrir hendi um eiginleika viðkomandi jarðhitasvæðis. Á hinn bóginn vilja menn síður leggja fjármuni í rannsóknir þar sem ekki er fyrirsjáanleg nýting í náinni framtíð. Til þess að samræma þessi tvö



Mynd 1 Orka íslenskra háhitasvæða sýnd í joules.

sjónarmið verður að fara einhverja millileið, þar sem rannsóknarkostnaði er haldið innan vissra marka, en að nægjanlegar upplýsingar liggi fyrir hverju sinni til þess að nýting tefjist ekki vegna skorts á upplýsingum.

Alþingi hefur ályktað um stefnu í þessum málum. Með þingsályktun um skipulegar rannsóknir á háhitasvæðum landsins, sem samþykkt var 19. maí 1981, var ríkisstjórninni falið að láta gera heildaráætlun og framkvæma rannsóknir á háhitasvæðum landsins þannig, að á tveim háhitasvæðum landsins verið virkjunarstaðir á verkhönnunarstigi að fimm árum liðnum og á fimm háhitasvæðum að tíu árum liðnum.

Iðnaðarráðuneytið fól Orkustofnun með bréfi dags. 14. september 1981 að gera heildaráætlun um rannsóknir á háhitasvæða í samræmi við þingsályktun um skipulegar rannsóknir á háhitasvæðum landsins

Fyrirliggjandi áætlun um rannsókn háhitasvæða er gerð af vinnuhópi er forstjóri Jarðhitadeildar Orkustofnunar skipaði til þessa verks þann 8. janúar 1982. Í vinnuhópnum voru: Valgarður Stefánsson formaður, Gestur Gíslason, Helgi Torfason, Lúðvík S. Georgsson, Stefán G. Sigurmundsson og Sverrir Þórhallsson.

Í áætluninni er sundurliðaður kostnaður og mannaflapörf fyrir árin 1983-1987 þannig að markmiði þingsályktunarinnar verði náð. Í ljós kemur að til þess að ná því markmiði að tveir virkjunarstaðirnir verði á verkhönnunarstigi í árslok 1987 er þörf svo skjótrar aukningar í mannafla að erfitt verður að framfylgja slíkri áætlun.

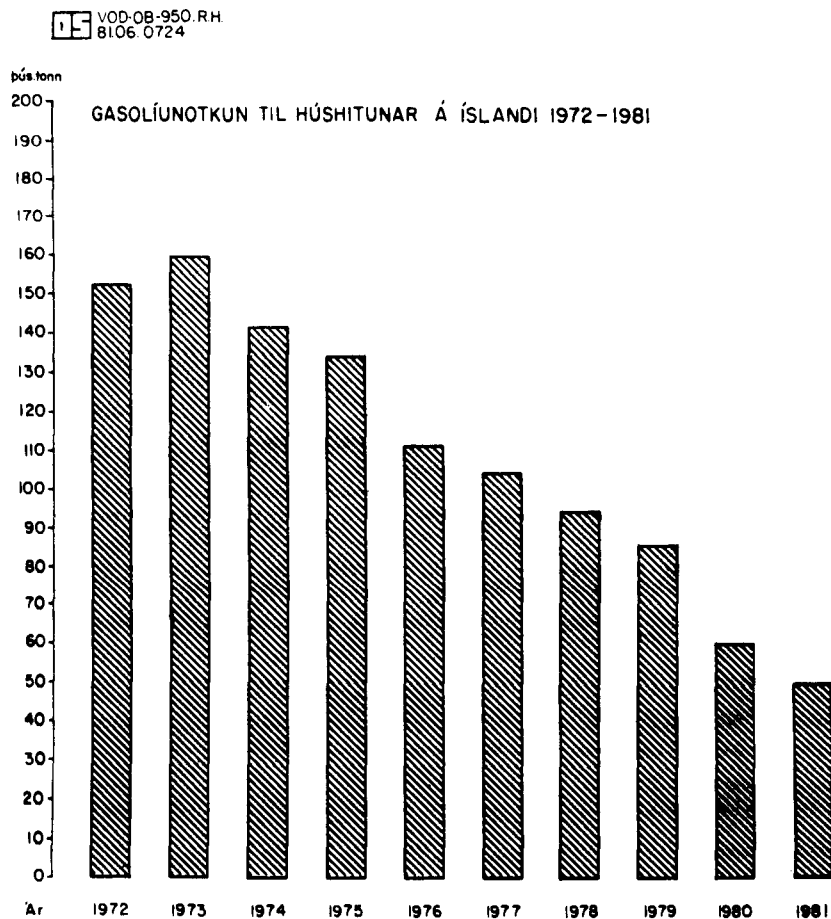
Af þessum sökum er einnig gerð áætlun um nokkuð jafnari leið þar sem fyrstu tveir virkjunarstaðir komast á verkhönnunarstig í árslok 1988, en að síðan komist ávallt tveir vikjunarstaðir á verkhönnunarstig þriðja hvert ár. Þessi lausn hefur þá kosti að árleg mannafla- og fjárþörf er hin sama frá ári til árs næstu 10-15 árin, en áætlaður árangur er svipaður markmiði því sem sett er í þingsályktun ef til langs tíma er litið.

Áætlunin gerir ráð fyrir að rannsóknarniðurstöður hverju sinni séu ákvarðandi um framhald rannsókna á þann hátt að við hverja ákvörðun sé ávallt valið á milli tveggja eða fleiri kosta. Af þessu leiðir meðal annars að ástæða er til að áætlun um rannsóknir á háhitasvæðum landsins sé endurskoðuð á 2-3 ára fresti eftir að hún kemst til framkvæmda.

Í viðauka aftan við skýrsluna er ritaskrá yfir helstu rit og greinar er fjalla um háhita á Íslandi (Viðauki I), eignarréttarmál og landamerkjalyfingar á þeim háhitasvæðum sem talið er eðlilegt að beina rannsókmun að á næstu 5-10 árum (Viðauki II) og einingaverð notuð í áætluninni (Viðauki III).

2 NÝTINGARMÖGULEIKAR HÁHITASVÆÐA

Nýting jarðhita á Íslandi er nú nær eingöngu til húshitunar. Mikið átak hefur verið gert á síðasta áratug til þess að nota jarðhita í stað innfluttrar orku á þessu sviði. Mynd 2 sýnir að notkun gasolíu til húshitunar var 100 þúsund tonnum minni árið 1981 en hún var árið 1973. Verðmæti þessa sparnaðar eru rúmar 200 milljónir króna á verðlagi ársins 1981. Heildarkostnaður við húshitun á Íslandi var árið 1981 rúmar 300 milljónir króna, svo það eru verulegir fjármunir sem hægt er að spara með því að nota innlenda orkugjafa í stað innfluttra.



Mynd 2 Gasolíunotkun til húshitunar 1972-1973 (Nafnlaus 1981, bls 23)

Helsti kostur jarðhita fram yfir olíu og vatnsorku er sá að þegar orka er nýtt sem varmi er vinnslukostnaður jarðhitans 5-10 sinnum minni en kostnaður við að nota olíu eða raforku. Þetta gildir bæði um háhita og lághita og er vel þekkt í húshitun og þurrkun í iðnaði. Nýtingarmöguleikar stjórnað því verulega af því hve mikill hluti varmans er nýttur. Nýtingarmöguleika má flokka í eftirfarandi meginþætti, og í því sambandi má benda á að varmanýtni þeirra er mjög misjöfn.

Tegund nýtingar	Varmanýtni
1. Húshitun, ylrækt	80%
2. Iðnaðarnotkun (gufa eingöngu)	40%
3. Raforkuvinnsla	
a) í vél með eimsvala (Krafla)	10%
b) í mótþrýstihverfli (Svartsengi)	4%

Æskilegt er að keppa að sem bestri nýtingu orkunnar og til að nálgast það mark er samnýting raforku og varma besti kosturinn (sbr. Svartsengi). Til að útskýra þennan mun á nýtni má benda á að varmaafli Kröfluvirkjunar (60 MW rafm.), eins og hún er hugsuð, hefði nægt Hitaveitu Reykjavíkur (600 MW varma). Til gufuframleiðslu í iðnaði er verð jarðhita nálægt því að vera tíundi hluti af verði olíu eða rafmagns, en við vinnslu raforku einnar sér úr jarðgufu er varmanýtnin 10% eða minni. Hverfur þá hið mikla forskot sem jarðhitinn hefur sem varmi. Kostnaður við slíka raforkuvinnslu úr jarðvarma er því svipaður og við raforkuvinnslu úr vatnsorku. Þess er þó varla að vænta að í náninni framtíð verði umtalsverður hagnaður af raforkuframleiðslu úr jarðhita í samkeppni við vatnsorku hér á landi.

Forgangsröð á nýtingu háhitasvæða er því eðlilega þessi:

1. Til hitaveitna. Eftir atvikum einnig með samvinnslu raforku.
2. Til iðnaðar. Eftir atvikum einnig með samvinnslu raforku.
3. Til raforkuvinnslu eingöngu.

Samvinnsla varma til hitaveitna og iðnaðar er einnig möguleg.

Dæmi um fjölbreytilega notkun jarðgufu á Íslandi eru hitaveitur, gróðurhus, raforkuvinnsla, kísilgúrþurrkun, ullarþvottur, fiskþurrkun, hersla á steypu og saltvinnsla. Nýtingarmöguleikar jarðgufu eru nánast ótæmandi, því í iðnaði getur hún komið í stað ketilgufu í flestum tilfellum. Reynslan hefur einnig sýnt að nýtingarvandamál jarðgufu eru hverfandi, þannig að unnt er að nota tæki og framleiðsluferla

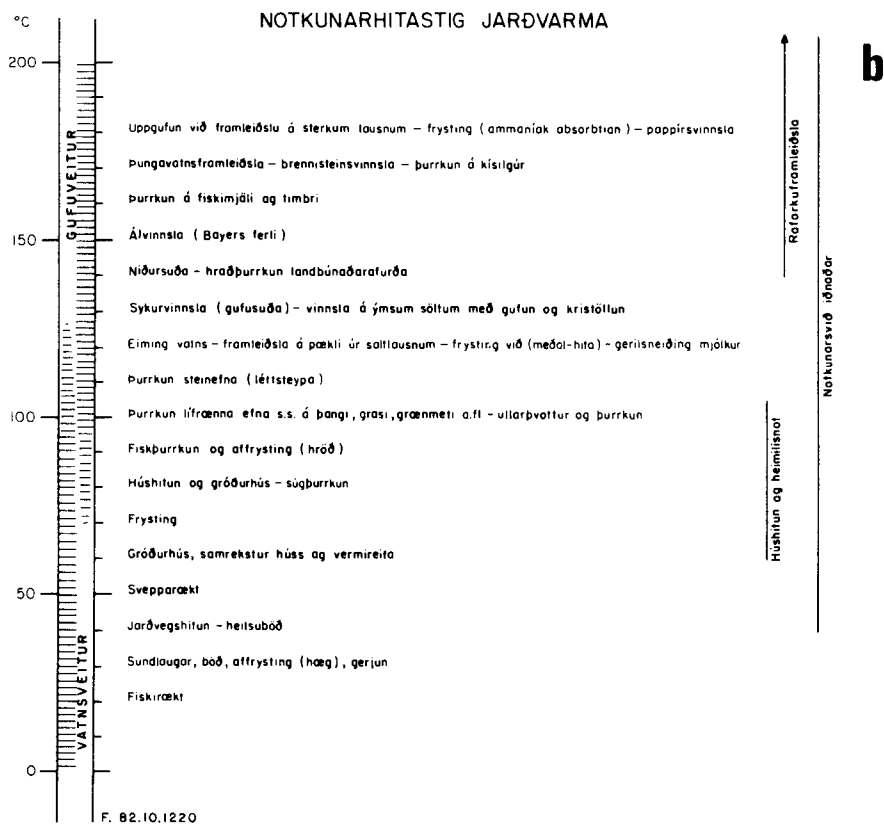
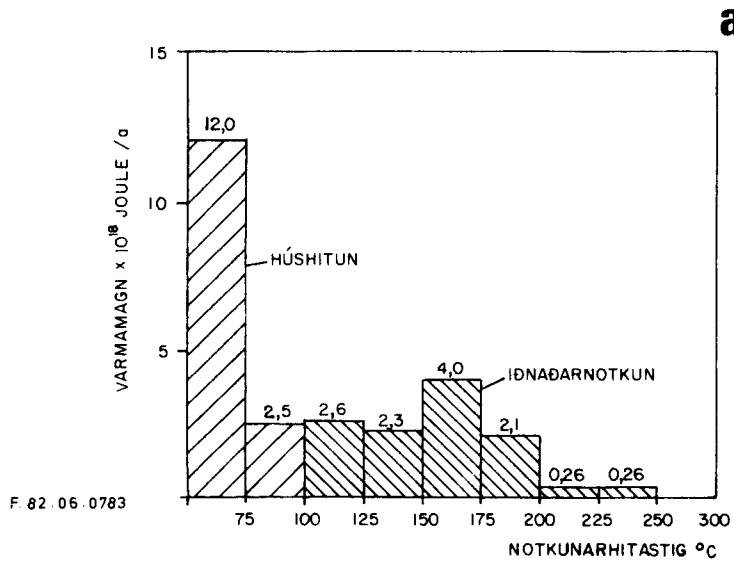
óbreytta.

Jarðgufu er hægt að vinna allt að 200°C heita, en meginvarmanotkun iðnríkja er innan þess hitastigs eins og fram kemur á mynd 3 a og b. Suða, þurrkun, eiming og kæling eru varmafrekustu notkunar sviðin í iðnaði, en húshitun gnæfir yfir sem stærsti varmanotandinn. Að þessu leiti fellur notkunin vel að þeim hitastigum og varma sem háhitasvæðin geta gefið af sér.

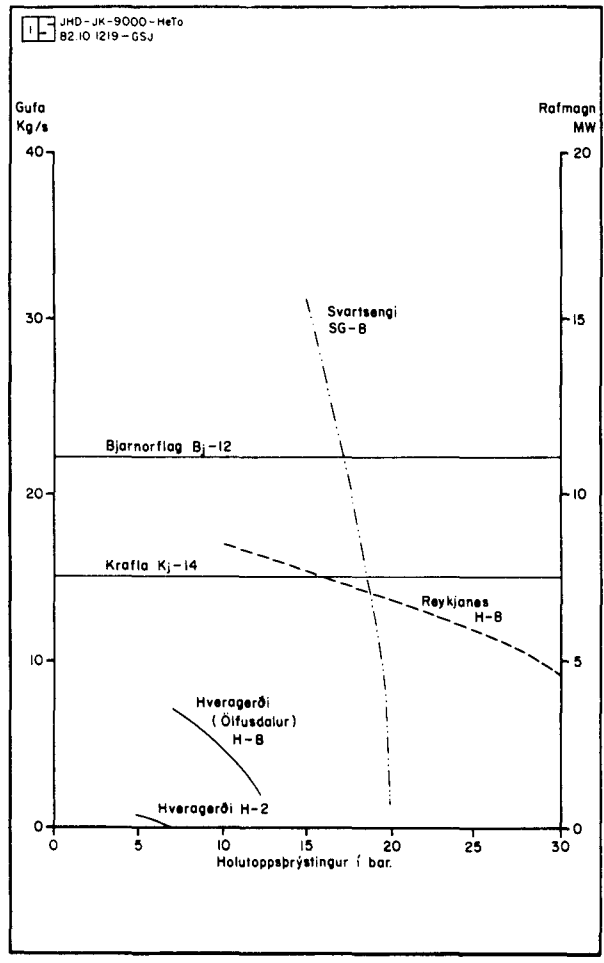
Hitastig jarðgufu við nýtingu fer eftir þrýstingi hennar. Rennsli úr gufuholum er háð mótþrýstingi við holutopp þannig að hér mótþrýstingur gefur minna rennsli en lágur mótþrýstingur. Þetta samband mótþrýstings og rennslis er nefnt vinnsluferill borholunnar. Vinnsluferillinn ræðst aðallega af hitastigi jarðhitasvæðisins hvað þrýstigetun snertir, en af vatnsleiðni bergsins og vídd borholu hvað afköst snertir. Ef hitastig jarðvökvans er of lágt getur það útilokað ákveðinn iðnað, en það dregur einnig úr mögulegri raforkuvinnslu. Jarðgufa af háhitasvæðum er nú nýtt við 180°C í Kísiliðjunni og í Kröfluvirkjun, 155°C í Svartsengi og um 120°C í gróðurhúsum í Hveragerði.

Á mynd 4 eru sýnd afköst háþrýstingufu við þann þrýsting sem hentar vel til raforkuframléiðslu og iðnaðar á nokkrum jarðhitasvæðum. Koma þar fram mismunandi vinnsluferlar eftir svæðum. Þar sem hitastig er lágt eins og í Hveragerði (180°C) er litla sem enga háþrýstingufu að fá en mikið af yfirheitu vatni. Aðra gerð svæða má sjá þar sem hitastig er 240-280°C eins og á Reykjanesi þar sem mikið magn gufu og vatns fæst. Þriðja gerðin er þar sem hitastig er yfir 300°C og jarðhitakerfið í suðu eins og í Kröflu og Bjarnarlagi. Þar er hlutfallslega mikið af gufu en lítið af vatni. Þessi atriði hafa að sjálfsögðu mikil áhrif á nýtingu jarðgufu af háhitasvæðum landsins og vitneskja um þetta fæst ekki nema með reynsluborunum.

Á síðastliðnum áratug hefur megináherslan í rannsóknum háhitasvæða beinst að Svartsengi og Kröflu. Rannsóknir á öðrum virkjunarstöðum hafa dregist verulega aftur úr, og fyrirsjáanlegt er að allmörg ár líða þar til aðrir virkjunarstaðir komist á verkhönnunarstig. Á næsta áratug er þó talið líklegt að eftirfarandi nýting komi til framkvæmda eða a.m.k. að rannsóknum hennar vegna verði haldið áfram að verkhönnunarstigi.



Mynd 3 Notkunarhitastig varma. a) Hlutföll notkunar og hitastigs þess varma sem notaður er í iðnaði og til húshitunar í Bandaríkjunum. b) Notkunarhitastig jarðvarma, nokkur dæmi - byggt á Linneau & Líndal (1974).



Mynd 4 Vinnsluferlar nokkurra borhola á íslenskum háhitasvæðum.

- Varmanýting til húshitunar og/eða iðnaðar fyrir Hitaveitu Reykjavíkur. Samvinnsla raforku einnig möguleg.
- Varmanýting til húshitunar og/eða iðnaðar fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Samvinna raforku einnig möguleg.
- Varmanýting til iðnaðar á SV-landi. Má þar nefna saltvinnslu eða annan iðnað á Reykjanesskaga.
- Varmanýting til iðnaðar á NA-landi.

Það er því augljóst að efla þarf rannsóknir háhitasvæða, ef koma á upp verulegri nýtingu þeirra á þessari öld.

Svo sem að framan er rakið eru heppilegustu möguleikar í nýtingu háhita í iðnaði. Til þess að notkun gufu í iðnaði geti orðið útbreidd þarf að setja upp gufuveitu og skapa aðstöðu til iðnrekstrar. Spurningin er hvort gufuveita til margþættra iðnaðarnota er ekki jafn sjálfsögð og hitaveita til húshitunar. Í báðum tilvikum getur jarðhitinn orðið verulega ódýrari en rafmagn og olía.

Með hliðsjón af því að á hverju háhitasvæði geta verið margir nýtingaraðilar og að hægt er að auka við gufuöflun í smáum áföngum, er ekki nauðsynlegt að ákveða nýtingu jarðgufunnar áður en rannsókn svæðanna hefst, enda ósennilegt að iðnaður geti beðið eftir svari um nýtingu í 5 til 10 ár.

3 ÁFANGASKIPTING OG RANNSÓKNARÞÆTTIR

3.1 Áfangaskipting

Rannsóknnum til undirbúnings ákvarðanatöku um virkjun háhitasvæða er skipt í áfanga. Við þá skiptingu er höfð hliðsjón af áfangaskiptingu á sviði vatnsaflsvirkjana til samræmingar, þar sem það á við, en auk þess tekið mið af séreinkennum jarðhitarannsókna. Rannsóknnum á háhitasvæðum er skipt í þrjá áfanga, forathugun, forhönnun og verkhönnun. Að því loknu kemur að gerð útboðsgagna og virkjunarframkvæmdum.

Orkustofnun annast tvo fyrstu áfangana, forathugun og forhönnun, en gert er ráð fyrir að virkjunar- eða nýtingaraðili hafi umsjón með seinni áföngum í virkjunarundirbúningi (verkhönnun, gerð útboðsgagna og virkjunarframkvæmdum) þó Orkustofnun komi einnig til með að vinna að ýmsum rannsóknarþáttum í þessum áföngum.

Á forathugunarstigi er markvisst leitað að heppilegum virkjunarstað og möguleikar hans athugaðir með rannsóknarborunum. Greina má forathugun í þrjá hluta. Byrjað er á fyrstu leit að virkjunarstað til þess að athuga hvort fýsilegt er að hefja yfirborðsrannsóknir á viðkomandi svæði. Næsta stig er yfirborðsrannsókn, þar sem beitt er öllum tiltækum aðferðum, jarðfræði, jarðeðlisfræði og jarðefnafræði til þess að afmarka og skilgreina mögulega virkjunarstaði. Síðasti hluti forathugunar eru rannsóknaboranir. Með þeim fást upplýsingar um hitastig jarðhitakerfisins og efnasamsetningu. Nokkrar upplýsingar má fá um rennsliseiginleika á þessu stigi, en almennt er það ekki fyrr en með reynsluborunum á forhönnunarstigi, sem slíkar upplýsingar fást.

Á Forhönnunarstigi hefur verið valinn einn eða fleiri virkjunarstaður á grundvelli rannsóknaborana. Á þessu stigi eru reynsluboranir gerðar og athugar á rennsli úr borholum og vinnslueiginleikum jarðhitakerfisins. Í lok þessa áfanga er gerð frumáætlun þar sem hagkvæmni áætlaðrar nýtingar er metin. Á þar að koma fram hvort fýsilegt er að fara í virkjun á tilteknum virkjunarstað.

3.2 Rannsóknarþættir

Á mynd 5 eru sýndir helstu áfangar í rannsókn háhitasvæðis og þeir síðan klofnir niður í 15 rannsóknarþætti. Tímalengd hvers rannsóknaráfanga á mynd 5 er miðuð við skemmsta mögulega tíma til að framkvæma þessa þætti eða áfanga. Það þýðir til dæmis að ef niðurstöður rannsókna gefa ekki tilefni til ákvörðunar um framhald, er rannsókn hætt eða að frekari athuganir eru gerðar á þessu sama rannsóknarstigi. Hér á eftir verður gerð nánari grein fyrir hverjum rannsóknarþætti í sömu röð og sýnt er á mynd 5. Eftir hvern rannsóknaráfanga er tekin ákvörðun um framhald rannsókna. Þessir ákvörðunarstaðir eru markaðir með tiglum á mynd 5.

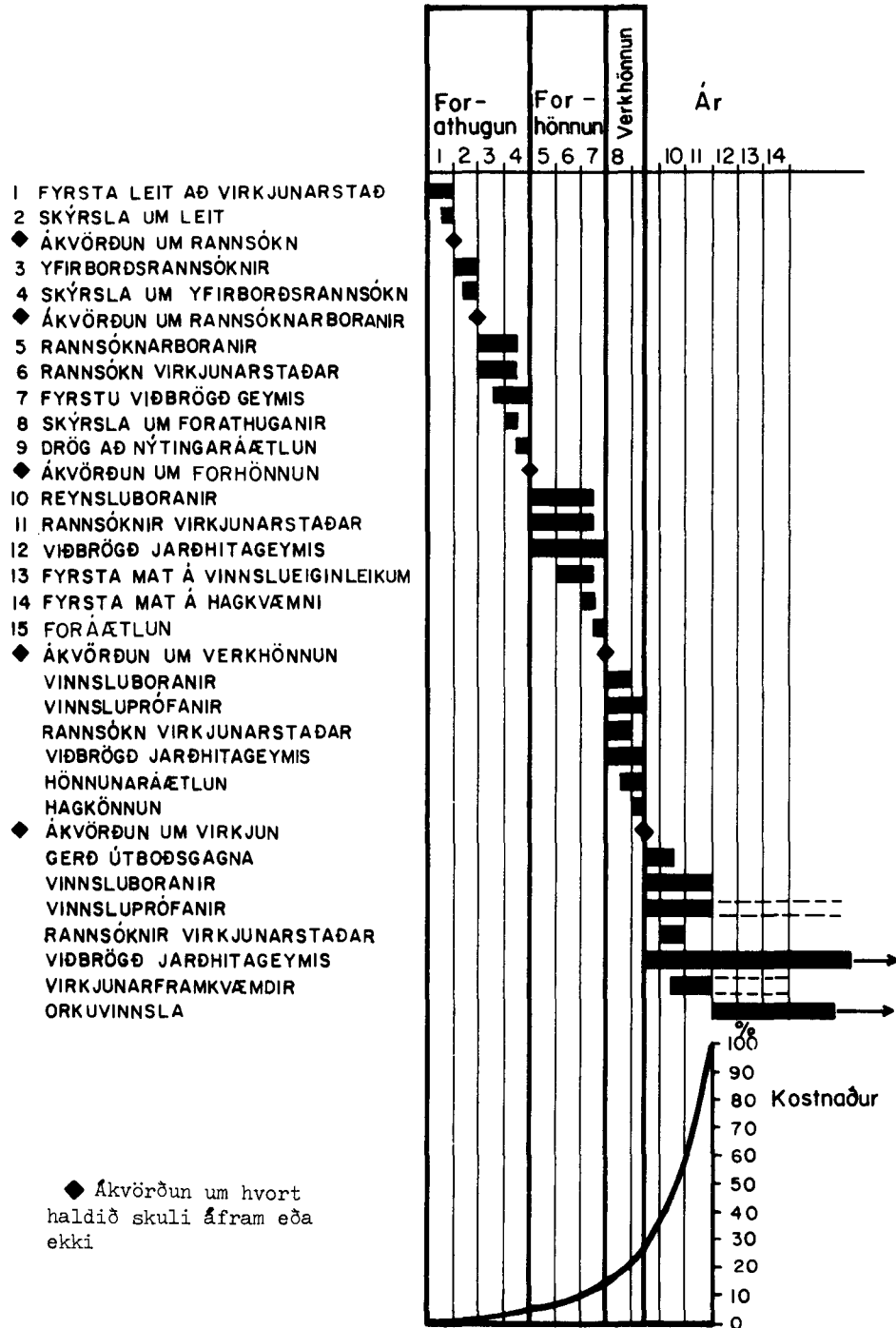
Tímalengd verkkönnunar og virkjunarframkvæmdir fara auðvitað mjög eftir því hvers konar orkuvinnsla er fyrirhuguð, og rétt er að benda á að í mjög fáum tilvikum er raunhæft að reikna með að báðum þessum áföngum verði lokið á fjórum árum.

Svo sem greint hefur verið frá áður er gert ráð fyrir að virkjunar- eða nýtingaraðili hafi umsjón með seinni áföngum í virkjunarundirbúningi (verkhönnun, gerð útboðsgagna og virkjunarframkvæmdum), þó Orkustofnun komi eflaust einnig til með að vinna að ýmsum rannsóknarþáttum í þessum áföngum. Það er því ekki ástæða til að láta þessa áætlun ná lengra en að ákvörðun um verkhönnun. Hins vegar er rétt að geta þess að meginkostnaðurinn við virkjun er á þessum seinni stigum undirbúnings eins og kemur skýrt fram neðst á mynd 5.



JHD-BM-9000-VS
82.02.0416 AA

ÁÆTLUN UM RANNSÓKNIR HÁHITASVÆÐA



5 Mynd 5 Afangaskipting og rannsóknarþættir í virkjunarundirbúningi á háhitasvæðum.

4 RANNSÓKNARHRAÐI - SAMANBURÐUR SVÆÐA VIÐ ÁKVARÐANATÖKU

Í kaflanum um áfangaskiptingu og rannsóknarþætti var farið gegnum þau stig og áfanga sem nauðsynleg eru talin við rannsókn á hverjum virkjunarstað, og einnig í hvaða röð þessir áfangar koma inn í rannsóknina.

Gert er ráð fyrir að þegar vissum áfanga er náð sé tekin ákvörðun um hvort rannsókn skuli haldið áfram eða ekki. Við slíka ákvarðanatöku má hugsa sér tvær aðstæður:

- A) Ákvörðunin miðast eingöngu við þekkingu á einu svæði og metið er hvort fýsilegt sé að halda áfram þar eða hætta.
- B) Sambærileg þekking er fyrir hendi á nokkrum svæðum, og ákvörðunin miðast við að velja hvert þessarra svæða sé fýsilegast til frekari rannsókna.

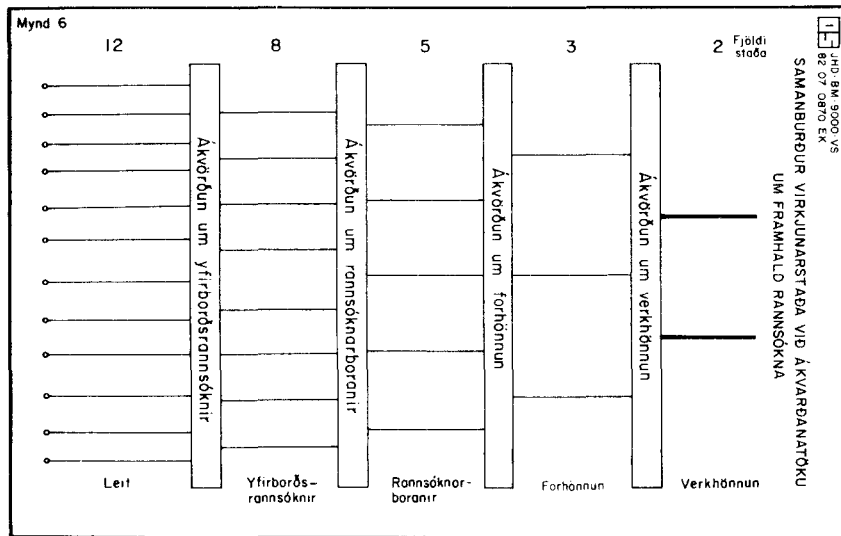
Það gefur auga leið að kostur A er mun þrengri en kostur B, og að mikil hætta er á að menn lendi þar í blindgötu, þ.e.a.s. komist að því eftir vissan tíma að tiltekið svæði er illa fallið til vinnslu. Ef þá eru ekki fyrir hendi svæði á svipuðu rannsóknarstigi þarf e.t.v. að byrja frá grunni á öðru svæði og mikill tími fer forgörðum.

Svo sem fram kemur í kostnaðaráætlunum í þessari skýrslu eykst kostnaður mjög ört eftir því sem rannsókn miðar áfram, og í stórum dráttum má segja að verðmunur aukist tífalt við hvern áfanga. Það er því hverfandi kostnaðarauki að taka fyrir allmörg svæði í byrjun til þess að hægt sé að vinsa úr þau heppilegustu á seinni stigum rannsókna. Hins vegar aukast líkur á því að settu marki verði náð ef hægt er að velja milli margra svæða við hverja ákvarðanatöku um næsta áfanga í rannsókn.

Alþingi hefur ályktað að rannsóknarhraði skuli miðast við að tvö svæði verði á verkhönnunarstigi að fimm árum liðnum. Til þess að því markmiði verði náð er auðsjáanlega of mikil áhætta því samfara að einskorða rannsóknir við tvö svæði. Hins vegar er það líka of mikil svartsýni að hefja strax rannsóknir á öllum háhitasvæðum landsins. Hér verður að velja einhvern skynsamlegan meðalveg. Sú leið sem hér hefur verið valin er sýnd á mynd 6. Grunnhugmyndin er sú að við hverja ákvarðanatöku eru tvö svæði af þremur valin til frekari rannsókna, eða með öðrum orðum að það séu fyrir hendi 1,5 sinnum fleiri möguleikar á fyrri rannsóknastigum.

Mynd 6 er fræðilegt ákvörðunartré sem byggir á þeirri forsendu að þekking á öllum svæðum sé jöfn, og að einungis ein ákvörðun sé tekin um hvert rannsóknastig. Þess vegna má

ekki skilja myndina svo að rannsaka þurfi alla þá möguleika sem sýndir eru á myndinni. En fræðilega sýnir myndin að til þess að hægt sé að velja tvo virkjunarstaði til verkhönnunar þurfa að liggja fyrir upplýsingar frá þrem svæðum þar sem reynsluboranir hafa farið fram (forhönnun). Til þess að velja þessi þrjú svæði til forhönnunar þarf rannsóknarborunum að vera lokið á fimm svæðum, en þau svæði aftur valin úr átta svæðum þar sem yfirborðsrannsóknir hafa verið gerðar. Til þess að velja átta svæði til yfirborðsrannsókna þarf fyrsta leit að virkjunarstað að hafa farið fram á 12 svæðum.



Mynd 6 Samanburður virkjunarstaða við ákvarðanatöku um framhald rannsókna.

Þó margir möguleikar komi fram í fræðilegri uppsetningu á þessari aðferð er ljóst að möguleikarnir verða mun færri ef unnið er samhlíða á mörgum rannsóknastigum. Við ákvarðanatöku á hverju stigi er nægjanlegt að tveir kostir séu fyrir hendi til þess að taka ákvörðun um framhald á einu svæði.

Í fyrirbyggjandi áætlun hefur verið metið á hvaða stigi hvert háhitasvæði er stutt rannsóknarlega, og áætlunin miðuð við þá stöðu. Fjárhagslega skiptir það þó litlu máli vegna þess að yfirgnæfandi kostnaður er tengdur borunum. Hins vegar skiptir það miklu máli fyrir tímaáætlun verksins, og möguleika á að koma tveim virkjunarstöum á verkhönnunarstig að fimm árum liðnum.

Ef byrja þyrfti frá grunni er stysti tími frá því forathugun hefst þar til kemur að ákvörðun um verkhönnun 7 ár eins og fram kemur á mynd 5.

Í þessari áætlun er gert ráð fyrir að valið sé á milli virkjunarstaða þegar ákvörðun um framhald rannsókna er gerð. Það er því ekki hægt að nafngreina hvaða svæði það verða sem lagt er til að forhönnun verði gerð á.

5 FORGANGSRÖÐ SVÆÐA

Við val á háhitasvæðum til rannsókna geta komið til mörg sjónarmið, og er vægi þeirra yfirleitt metið misjafnt. Hér má nefna:

1. Lega svæðis miðað við markað og aðrar landfræðilegar aðstæður. Nálægð jarðhitasvæðis við þéttbýli skiptir meginmáli fyrir nýtingu til hitaveitu, en nálægð við þéttbýli og góða höfn er aðalatriði í iðnaðarnýtingu. Samgöngur og nálægð við raforkuver og raforkulínur getur einnig skipt sköpum fyrir nýtingarmöguleika háhitasvæðis.
2. Vinnslugeta og vinnslueiginleikar virkjunarstaðar. Þessir eiginleikar koma að vísu sjaldan fram fyrir en langt er liðið á rannsókn virkjunarstaðar, og verða því fremur til þess að ákvarða framhald rannsókna en að hefja rannsóknir á óþekktum svæðum. Að öðru jöfnu eru svæði með mikla vinnslugetu tekin fram yfir virkjunarstaði með litla vinnslugetu. Vinnslueiginleikar virkjunarstaðar eru hins vegar afgerandi um það hvers konar nýting er heppileg og hagkvæm á viðkomandi virkjunarstað.
3. Fyrirliggjandi þekking á svæðinu. Með hliðsjón af mikilvægi liðs 2 hér að ofan er það eðlilegt að þau svæði sem eru betur þekkt en önnur njóti góðs af því þegar svæðum er raðað í forgangsröð.
4. Orka svæðanna. Fræðileg orka allra háhitasvæða landsins hefur verið metin (Guðmundur Pálmason 1981, Guðmundur Pálmason o.fl. 1982). Ef önnur þekking er ekki fyrir hendi má nota þetta mat til að gera upp á milli svæða.
5. Umhverfissjónarmið. Nokkur háhitasvæði eru friðuð (t.d. Geysir, Hveravellir og Askja), eða eru á landssvæðum með strangri náttúruverndarlöggjöf (Mývatn). Rannsóknir og nýting þarf að taka tillit til náttúruverndar og umhverfissjónarmiða. Rannsóknir á háhitasvæðunum geta einnig verið áhugaverðar vegna náttúruverndar (Geysir).
6. Gosvirkni. Öll háhitasvæði landsins eru tengd virkum megineldstöðvum, en varmagjafi háhitasvæðanna er kólnandi kvika eða innskot frá þessum eldstöðvum. Eðlilegt er að öðru jöfnu að forðast virkustu eldstöðvarnar vegna gosvirkni, en einnig vegna þeirra óheppilegu efnaáhrifa sem kvikuvirkni getur haft á jarðhitavökvann.
7. Skjálftahætta. Á öllum háhitasvæðum landsins má búast við verulegum jarðskjálftum (M5), en sums staðar má búast við enn stærri skjálftum (M6 - M7).
8. Eignarréttur. Þar sem háhiti er á landssvæðum í einkaeign setur það ríki og sveitarfélögum vissar skorður í rannsókn háhitasvæða. Fram að þessu hafa virkjunaraðilar háhitasvæða einungis verið ríki og sveitarfélög, og í

Þessi áætlun er gert ráð fyrir að svo verði í náninni framtíð. Svæði í einkaeign eru því að öðru jöfnu látin hafa minni forgang en svæði í umsjá ríkis og sveitarfélaga.

Þó öll þessi átta atriði hafi verið athuguð í því vali á háhitasvæðum sem hér er gert, reyndist langveigamesta atriðið í flestum tilvikum vera liður 1, - landfræðileg lega svæðis. Þau svæði sem talið er eðlilegt að beina rannsóknum næstu 5-10 ára á eru svæðin á Reykjaneskaga (Reykjanes, Eldvörp, Krísuvík, Hengill), Torfajökull og svæði á Norðausturlandi (Námalfjall Þeistareykir, Öxarfjörður). Virkjunarstaðirnir Svartsengi, Bjarnarflag á Námalfjallssvæði og Hveragil (Leirbotnar) á Kröflusvæði eru þegar virkjaðir (mynd 7).

Ástæða er til að minna á það hér að þegar gerð er áætlun um rannsóknir á sérstakri auðlind (jarðhita) eins og hér er gert er reiknað með að rannsókn á allri auðlindinni sé gerð og að nýting auðlindarinnar sé það mikil að nýtingin standi undir rannsóknarkostnaði.

Í sumum tilfellum væri eðlilegt að nýting auðlindar væri minni en t.d. 50% en í þeim tilfellum er ekki hægt að gera ráð fyrir að rannsókn spanni yfir nema vissan hluta af heildarrannsókn auðlindar.

Reykjanes. Svæðið er allvel þekkt, og er landið í eigu ríkis og sveitarfélaga. Boraðar hafa verið 8 holur, og er ein þeirra notuð í tilraunasaltverksmiðju þar. Samgöngur eru greiðar og fjarlægð til Keflavíkur er 18 km. Eldvirkni hefur verið lítil á sögulegum tíma. Skjálftar eru tíðir en yfirleitt litlir. Jarðhitavökvi er saltur, og hitastig um 290° C.

Eldvörp. Svæðið er sennilega lítið, en boranir hafa ekki farið fram ennþá. Land er í eigu ríkisins, en Hitaveita Suðurnesja hefur rétt til rannsókna á svæðinu. Fjarlægð til Svartsengis er 6 km. Rannsóknarborun er fyrirhuguð veturinn 1982-1983. Nýtingarmöguleikar til hitaveitu og til iðnaðar. Eldvirkni hefur ekki verið á sögulegum tíma. Skjálftavirkni mikil en skjálftar yfirleitt smáir.

Krísuvík (Sveifluháls - Trölladyngja). Svæðið er stórt að flatarmáli, en jarðhita og ummyndun er dreift á um 45² km svæði. Virkjunarstaðir eru tveir, Sveifluháls og Trölladyngja. Fjarlægð til höfuðborgarsvæðis er um 30 km. Trölladyngja liggur mjög vel við höfn í Straumsvík (11 km). Mikill hluti Krísuvíkursvæðisins er í eigu ríkis eða sveitarfélaga. Alls hafa verið boraðar 8 holur á Krísuvíkursvæði. Hitastig jarðhitavökva er um 200°C við Seltún en 260°C við Trölladyngju. Nýtingarmöguleikar eru til

hitaveitu og til iðnaðar. Tvö hraun a.m.k. hafa runnið eftir landnám. Skjálftavirkni er mikil en skjálftar yfirleitt litlir.

Hengill. Talinn eitt af stærstu háhitasvæðum landsins. Fjarlægð til Höfuðborgarsvæðisins um 30 km og samgöngur góðar. Fimm virkjunarstaðir eru taldir vera á svæðinu (Nesjavellir, Hveragerði, Ölkelduháls, Vestur-Hengill og Hengladalir). Mikill hluti svæðisins er í eigu sveitarfélaga eða ríkis, en nokkur hluti í einkaeign. Boraðar hafa verið fimm holur á Nesjavöllum og átta holur norður af Hveragerði. Hitastig er um 220°C í Hveragerði en yfir 300°C á Nesjavöllum. Eldvirkni hefur verið lítil á sögulegum tíma, en skjálftavirkni töluverð, og hafa mælst þar öflugir skjálftar.

Torfajökull. Talið öflugasta háhitasvæði landsins sem er aðgengilegt til virkjunar. Landið er afréttarsvæði í Rangárvalla- og Vestur-Skaftafellssýslum, að mestu á Landmannaafreйти. Rannsóknir á byrjunarstigi. Svæðið er fjarrí byggð en nálægt vatnsorkuverum á Tungnáröræfum. Nokkur hraun hafa runnið á sögulegum tíma, og gjóskugos varð á norðanverðu svæðinu á 15. öld. Jarðhiti og ummyndun er á mjög stóru svæði (130 km²), og er búist við að á svæðinu séu margir virkjunarstaðir. Smáskjálftar eru tíðir, en einnig má vænta þar stærri skjálfta. Torfajökull er á svæðinu "Friðland að Fjallabaki".

Námafjall (Hverarönd). Í Námafjalli eru taldir tveir virkjunarstaðir, Bjarnarflag og Hverarönd. Ríkissjóður hefur umráðarétt yfir jarðhitanum. Bjarnarflag er virkjað en Hverarönd ekki. Vinnslugeta og vinnslueiginleikar í Bjarnarflagi eru hagstæðir, og má því e.t.v. vænta svipaðra aðstæðna í Hverarönd. Lítil þéttbýliskjarni er í Reynihlíð. Lög um verndun Mývatns og Laxár ná til Námafjallssvæðisins. Hraun hafa runnið á sögulegum tíma í nágrenni Námafjalls og áhrifa kvikuumbrota (1975-1982?) í Kröflu hefur gætt í Bjarnarflagi en ekki í Hverarönd. Skjálftavirkni er talin lítil að undanskildum umbrotum síðustu ára í Kröflu.

Deistareykir. Svæðið er fremur lítið, en er nú allvel þekkt. Svæðið er aðgengilegt til vinnslu. Jarðhitaréttindin eru eign ríkissjóðs. Fjarlægð til Húsavíkur er 20 km, en vegasamband ekki gott. Nýtingarmöguleikar eru einkum til iðnaðar. Ekki er vitað um eldvirkni á svæðinu síðastliðin 2000 ár, og skjálftavirkni hefur ekki mælst á svæðinu. Vegna nálægðar við Húsavíkurmisgengi má þó búast við verulegum skjálftum á svæðinu.

Öxarfjörður. Háhitasvæði er talið vera undir söndunum í Öxarfirði. Stærð svæðisins gæti verið um 20 km² samkvæmt viðnámsmælingum. Næsta þéttbýli er Kópasker, en háhitasvæðið er í byggð í Öxarfirði. Nýtingarmöguleikar til hitaveitu og

til iðnaðar. Engar nútímaeldstöðvar eru á svæðinu, en stórir skjálftar virðast dynja tiltölulega oft yfir þetta svæði. Sprungumyndanir og landssig urðu 1976 í tengslum við umbrot í Kröflu, enda er háhitasvæðið í Öxarfirði í sama sprungusveim og gengur gegnum Kröflu. Land er allt í einkaeign.

Þó ekki sé gert ráð fyrir að önnur háhitasvæði en hér voru talin verði rannsökuð á næstu 10 árum er þó ljóst að athuga verður hvaða háhitasvæði gætu komið til rannsókna á árunum 1990-2000. Til þess að svo megi verða, og til þess að halda nokkurri samfellu í rannsókn háhitasvæða er í þessari áætlun lagt til að fyrsta leit að virkjunarstað verði gerð á nokkrum svo til óþekktum svæðum á næstu 15 árum. Þessi svæði eru:

Sandfell. Lítið svæði sem er hluti af Krísvíkursvæðinu.
Brennisteinsfjöll. Lítið svæði skammt vestur af
Bláfjöllum. Fýsilegt vegna nálægðar við Höfuðborgarsvæðið.
Fremrinámar. Lítið svæði skammt suðaustur af Mývatni.
Hrúthálsar. Nokkru suðaustan við Fremrináma í norður-gösbeltinu.
Kerlingarfjöll. Stórt svæði suðvestan við Hofsjökul.
Blautakvísl. Lítið svæði skammt sunnan við Þórisvatn.
Kaldakvísl. Lítið svæði skammt vestan Vatnajökuls.

Háhitasvæði á Íslandi eru mjög mismunandi vel þekkt. Sum svæði eru alveg óþekkt, og jafnvel er ekki vitað hvort fyrir hendi er háhitasvæði eða ekki. Í öðrum tilvikum er þekking mikil, einkum á þeim svæðum þar sem vinnsla fer fram. Í þessum kafla er fjallað um háhitasvæðin almennt og rakin staða rannsókna á þeim átta háhitasvæðum, sem eru til umfjöllunar í þessari áætlun (sjá kafla 5). Í þessum lýsingum er m.a. stuðst við birt og óbirt gögn Jarðhitadeildar Orkustofnunar. Til samanburðar er mynd 5 notuð til að sýna stöðu rannsókna á hverjum virkjunarstað.

6.1 Háhitasvæði landsins

Skipting íslenskra jarðhitasvæða í háhitasvæði og lághitasvæði byggir á skilgreiningu Gunnars Böðvarssonar (1961). Sú skilgreining er fræðilegs eðlis þar sem mörkin eru dregin við grunnhitann (base temperature) 150-200°C. Sem einföldun á hugtakinu grunnhiti má segja að það sé hæsta hitastig sem jarðhitavökvi í tilteknu jarðhitakerfi nær í hringrás sinni um bergið. Önnur skilgreining, sem tengist betur mældum hita í borholum, er sú að háhitasvæði sé jarðhitasvæði þar sem hiti er yfir 200°C á minna en 1000 m dýpi (Sjá t.d. Guðmundur Pálmason 1980).

Stundum getur verið erfitt að draga nákvæm mörk milli lághita og háhita en í flestum tilfellum má notast við ýmsar óbeinar athuganir til að greina milli þessarra tveggja tegunda jarðhitasvæða. Fjöldi íslenskra háhitasvæða er ekki vel skilgreint hugtak, heldur fer hann eftir þekkingu manna á hverjum tíma. Við fyrsta mat á orku íslenskra háhitasvæða (Gunnar Böðvarsson 1956) var talið að þessi fjöldi væri 12 svæði. Í nýlegu mati á jarðhitaorku landsins (Guðmundur Pálmason 1981, Guðmundur Pálmason o.fl. 1982) er talið að fjöldi íslenskra háhitasvæða sé allt að 27. Almenn staða rannsókna á íslenskum háhitasvæðum er sýnd á mynd 7. Skilgreining rannsóknarstigs er ekki í smáatriðum samhljóða þeirri skilgreiningu sem notuð er í þessari skýrslu (sjá mynd 5) en í stórum dráttum má sjá að rannsókn háhitasvæða er skammt á veg komin.

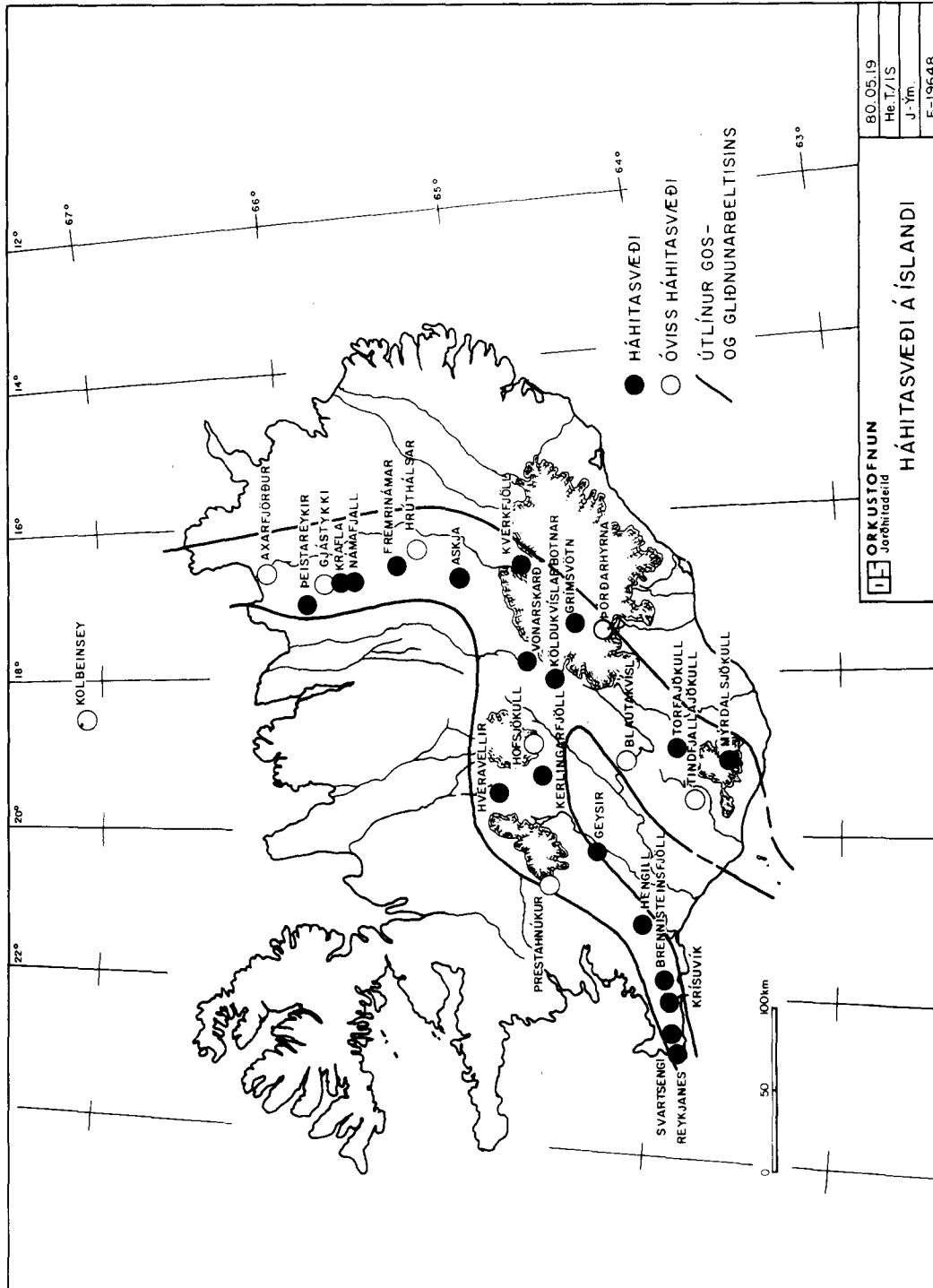
Öll íslensk háhitasvæði eru talin vera á gliðnunarbeltum landsins (sjá mynd 8). Þar að auki virðast þau einkum staðsett innan sprungu- og misgengiskerfa þar sem eldvirkni er mest í svokölluðum megineldstöðvum. Undantekningar frá þessari reglu eru t.d. megineldstöðvarnar, Hekla, Öræfajökull og Snæfellsjökull þar sem ekki er vitað um háhitasvæði. Ein skýring á þessu gæti verið að þessar megineldstöðvar eru ekki á virku gliðnunarbelti landsins.

Staða rannsókn á háhitasvæðum á Íslandi mars 1981

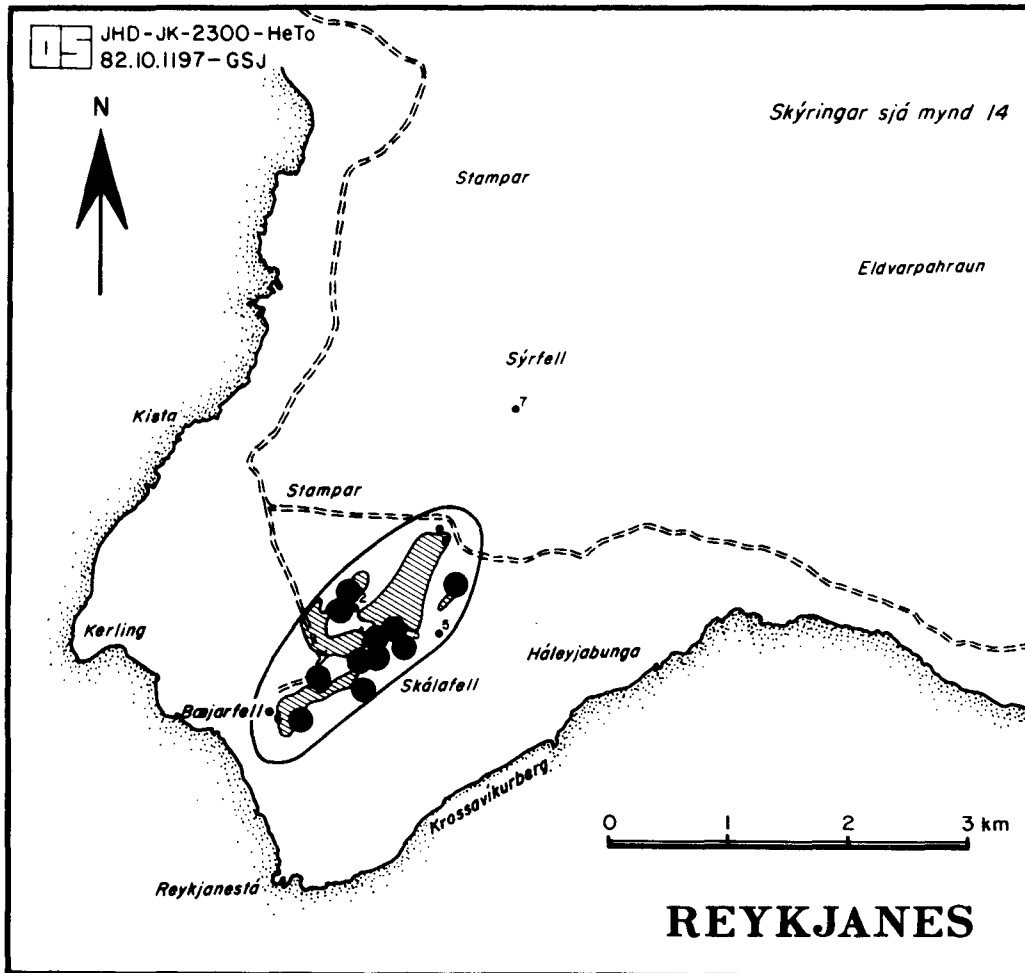
	Stærð í km ²	Aðgengi- leiki til vinnslu %	Virkjunarsvæði	Forathugun			Forhönnun			Verkhönnun			Útboðs- gögn	Virkjun hafin	
				I	II	III	I	II	III	I	II	III			
1. Reykjanes	2	100													
2. Svartsengi	11	100	Eldvörp												
			Svartsengi												
3. Krísuvík	60	80	Sandfell												
			Trölladyngja												
			Svetluháis												
4. Brennisteinsfjöll	2	60													
5. Hengill	100	70	Hveragerði												
			Hengladalur												
			Nesjavellir												
6. Geysir	3	90													
7. Kerlingarfjöll	11	70													
8. Hveravellir	1	90													
9. Mýrdalsjökull	?	0													
10. Torfajökull	140	70	Reykjadalir												
			Landmannalaugar												
11. Grímsvötn	65(?)	0													
12. Káldukvíslarbotnar	8	80													
13. Vonarskarð	11	60													
14. Kverkfjöll	25	20													
15. Askja	25	30													
16. Fremrinámar	4	90													
17. Námafjall	7	90	Hverarand												
			Bjarnarflog												
18. Kröfla	30	90	Hveragil												
			Leirhnúkur												
19. Þeistareykir	19	80													
20. Prestahnúkur	1	50													
21. Hofsjökull	?	0													
22. Tindfjallajökull	1	10													
23. Blautakvísl	7	70													
24. Þórðorhyrna	?	0													
25. Hnúthálsar	7	90													
26. Gjástykki	7	100													
27. Öxarfjörður	30	90													

JHD - SK - 9000 - HeTo
81 04 - 0373 - Gyðo

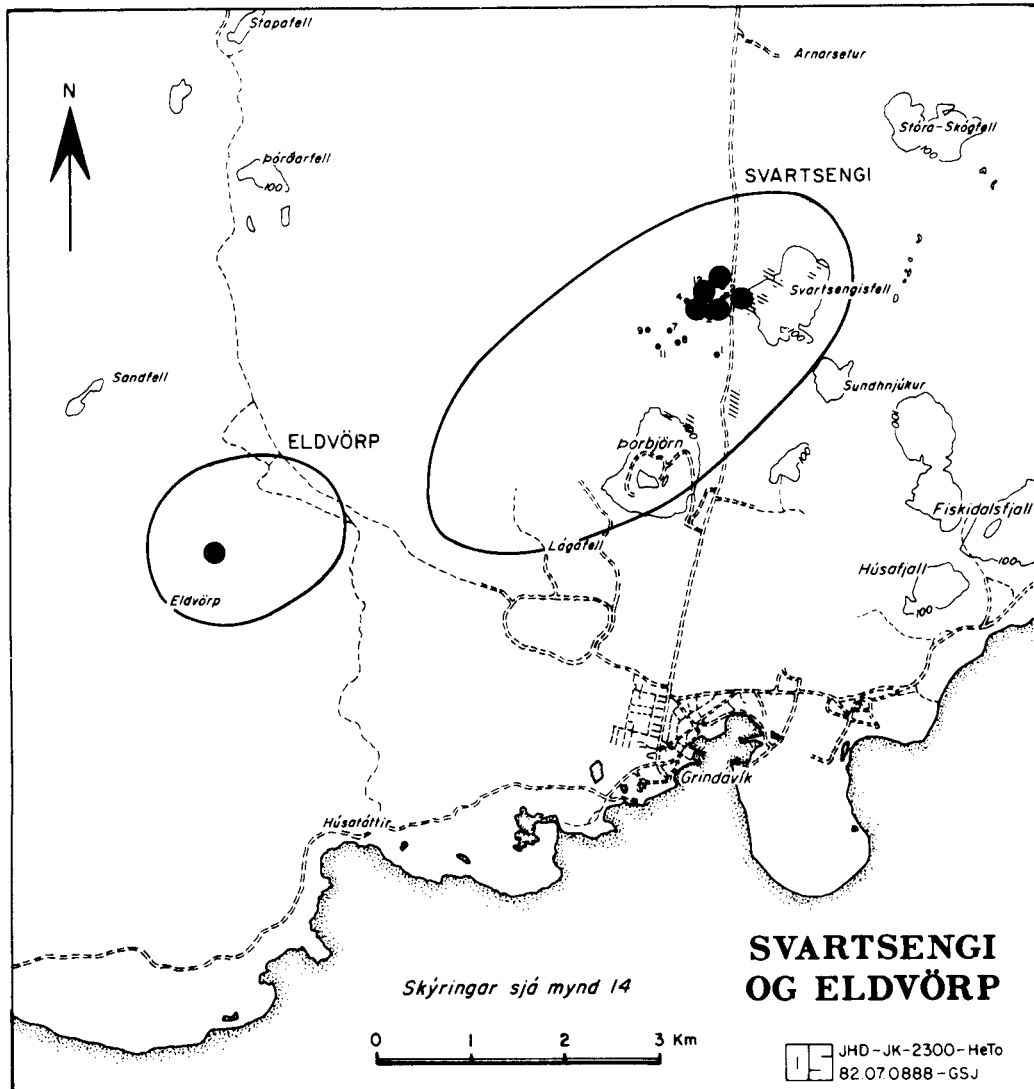
Mynd 7 Staða rannsókna á háhitasvæðum á Íslandi í mars 1981. Aðgengileiki svæðis til vinnslu er skilgreindur sem nýtanlegt flatarmál jarðhitasvæðis (sjá nánar í Guðmundur Pálmason o.fl. 1981).



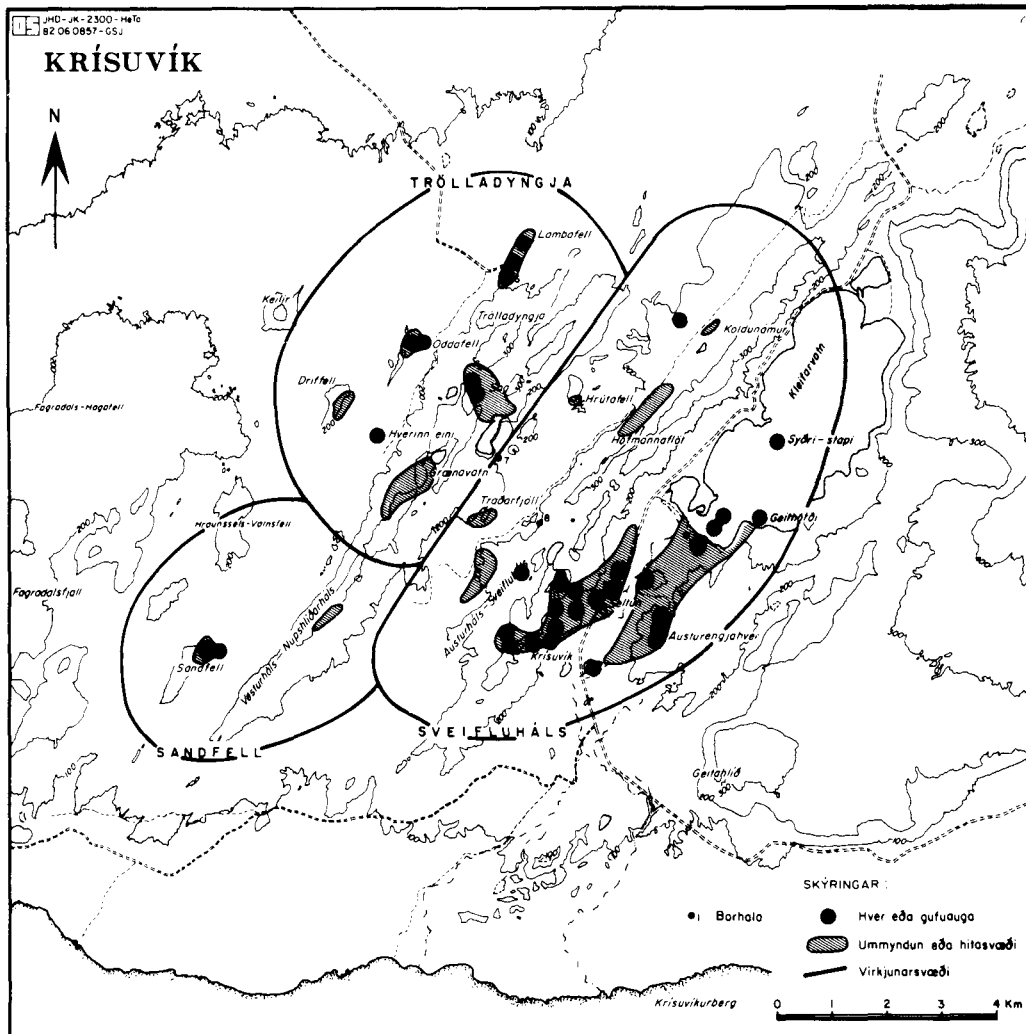
Mynd 8 Háhitasvæði á Íslandi, viss og óviss.



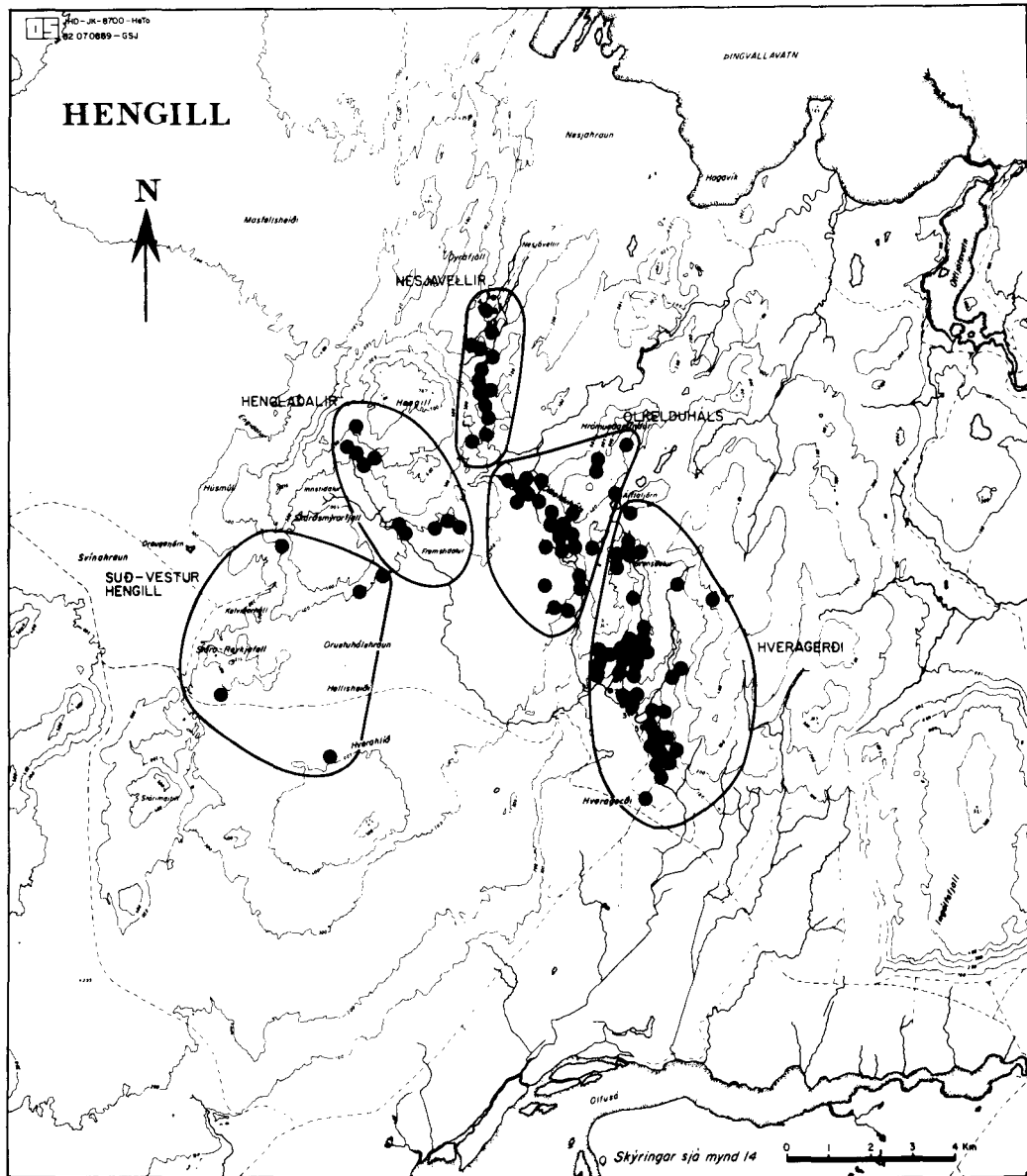
Mynd 10 Jarðhitasvæðið á Reykjanesi, borholur og úreifing jarðhita og ummyndunar á yfirborði (skv. Sveinbjörn Björnsson o.fl. 1971).



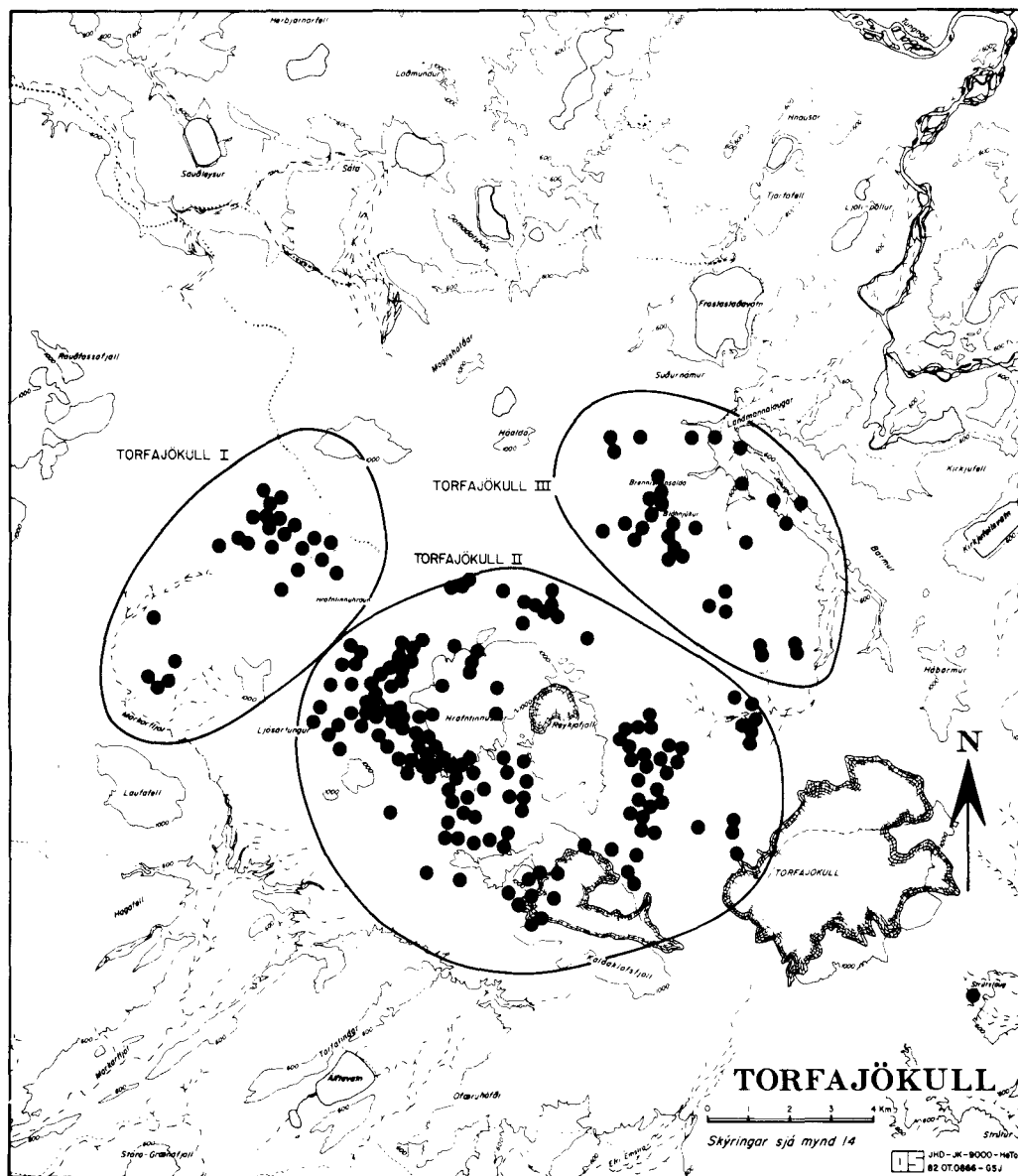
Mynd 12 Jarðhitasvæðin í Svartsengi og Eldvörpum, borholur og dreifing jarðhita og ummyndunar á yfirborði (skv. Jón Jónsson 1978).



Mynd 14 Jarðhitasvæðin við Krísuvík, Sveifluháls, Trölladyngju og Sandfell. Borholur, og dreifing jarðhita og ummyndunar á yfirborði (skv. Jón Jónsson í Stefán Arnórsson o.fl.1975 og Jón Jónsson 1978)



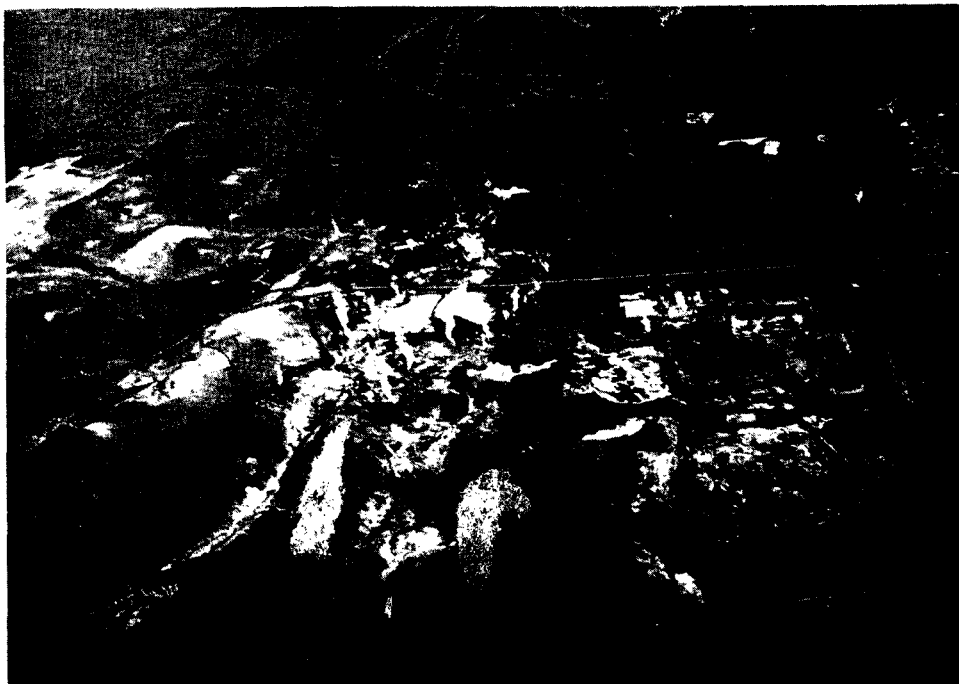
Mynd 16 Jarðhitasvæðin í Hengli: Hveragerði, Ölkelduháls, Nesjavellir, Hengladalur og Vestur Hengill. Jarðhiti eftir upplýsingum frá Kristjáni Sæmundssyni. Borholur á Nesjavöllum og í Hveragerði (Ölfusdal).



Mynd 19 Jarðhitasvæðin Torfajökull I, II og III, dreifing jarðhita eftir upplýsingum frá Kristjáni Sæmundssyni.



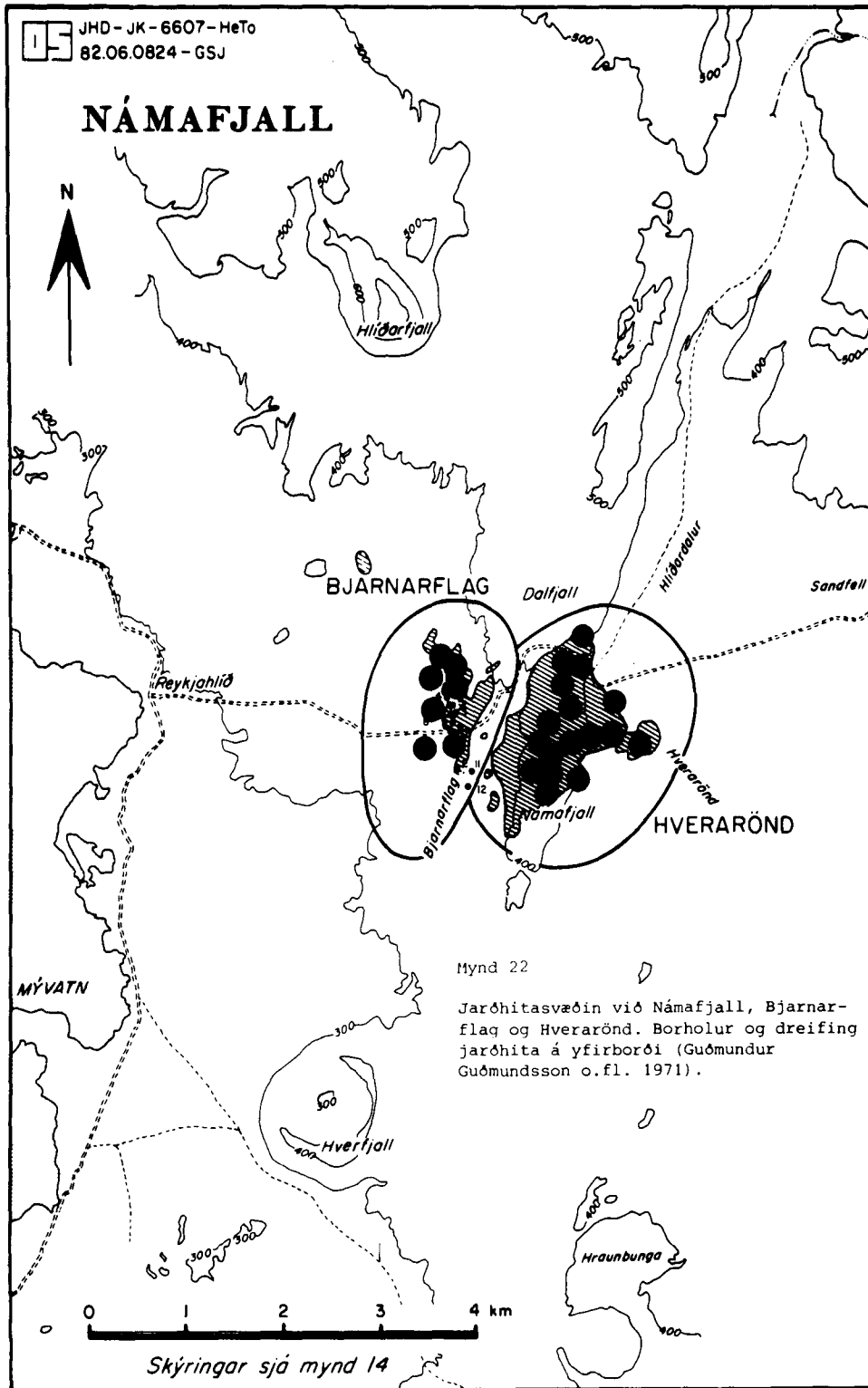
Mynd 18. Torfajökulssvæðið, horft frá Bláhnúk til vesturs yfir Laugahraun, sem er súrt nutimahraun. Fyrir miðri mynd er Brennisteinsalda og má sjá gufur við norðanverðar rætur hennar. Mógilshöfða ber við hmin (ljósm. Kristján Samundsson).



Mynd 21. Horft til suðausturs yfir Bjarnarflak sem er annað tveggja virkjunarsvæða á Námafjallssvæðinu. Hitt virkjunarsvæðið, Hverarönd er til vinstri (austan) við myndina. Kísiliójan er til hægri við miðja myndi og sjást gufur m.a. stíga upp frá borholum gufuveitunnar (ljósm. Oddur Sigurðsson).

05 JHD - JK - 6607 - HeTo
82.06.0824 - GSJ

NÁMAFJALL



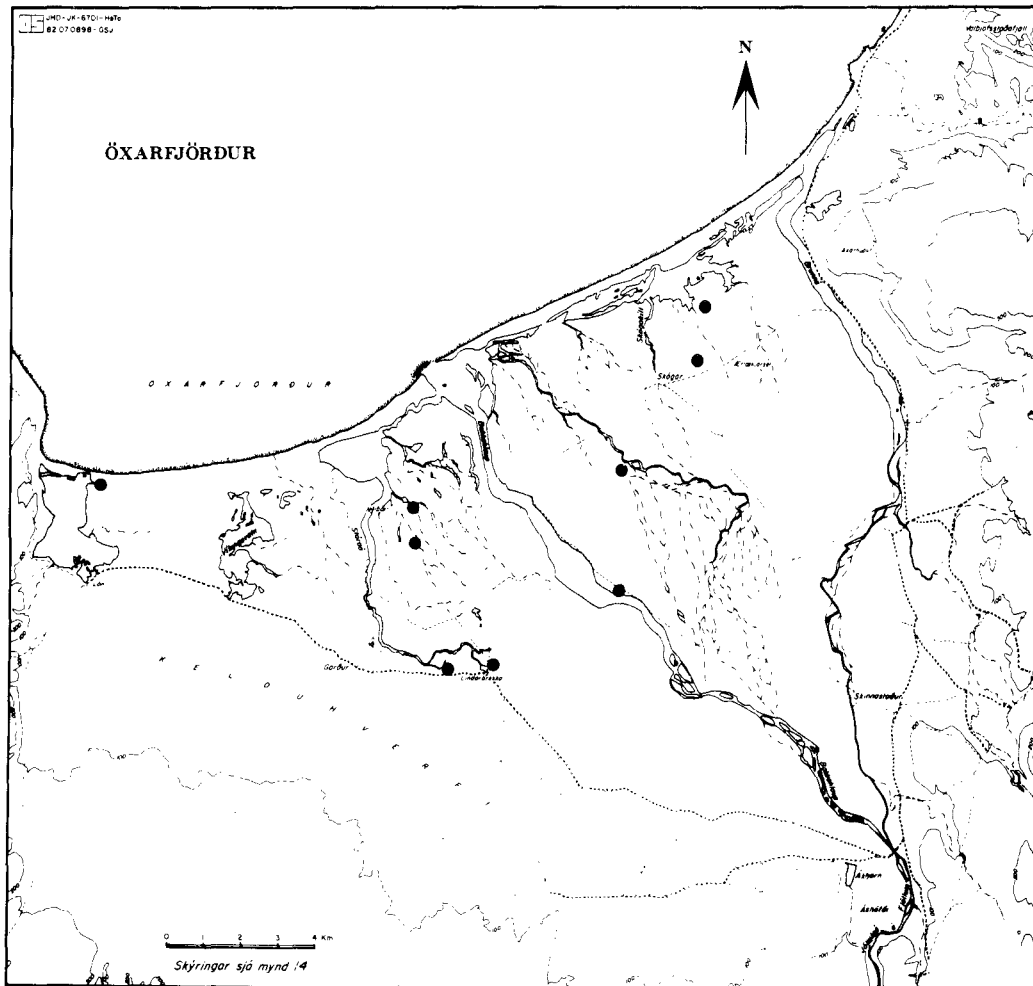
Mynd 22

Jarðhitasvæðin við Námafjall, Bjarnarflaeg og Hverarönd. Borholur og dreifing jarðhita á yfirborði (Guðmundur Guðmundsson o.fl. 1971).

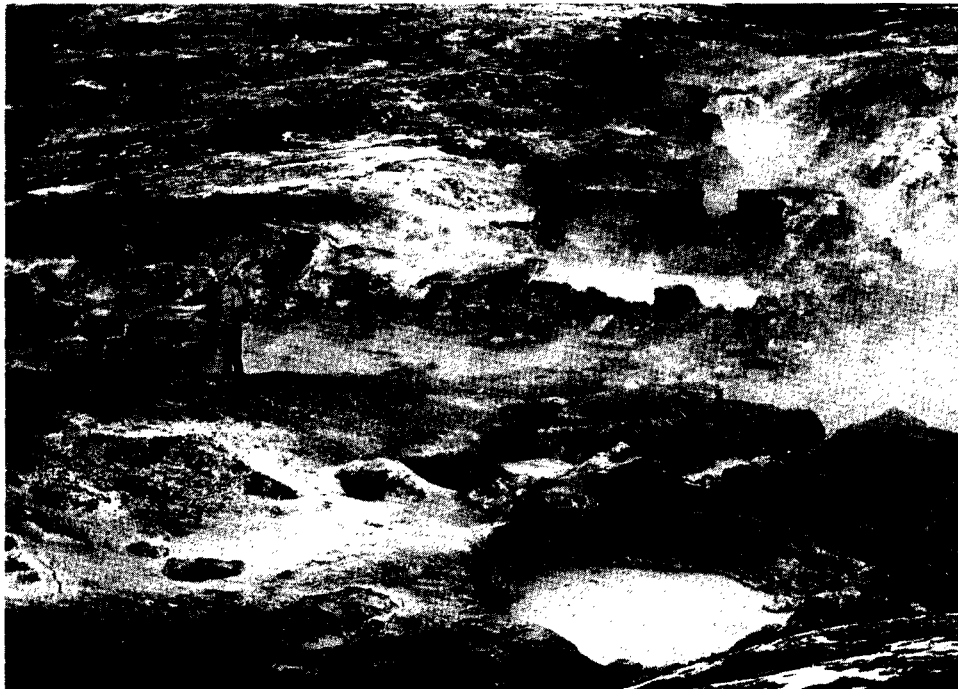
Skýringar sjá mynd 14



Mynd 24 Jarðhitasvæðið á Deistareykjum, dreifing jarðhita og ummyndunar.

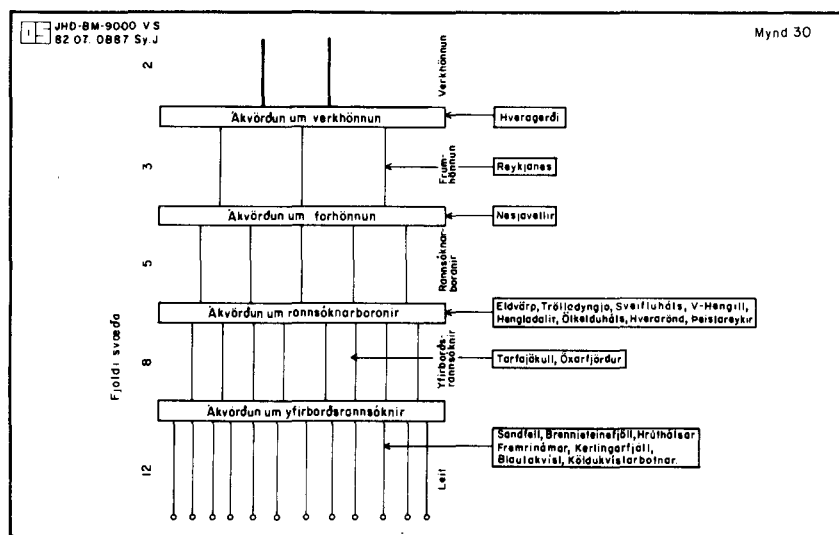


Mynd 26 Dreifing jarðhita á yfirborði í Öxarfirði skv. gögnum Orku-
stofnunar. Ekki hefur verið reynt að draga útlínur jarðhita-
svæðisins þar sem um það ríkir mikil óvissa.



Mynd 31. Mynd tekin í austurhlíð Leirhnúks, dæmigerð fyrir hvernig umhorfs er á háhitasvæðum þar sem hitinn hefur soðið sundur bergið og gufu- og leirhverir bulla og sjóða. Leirhverir fara sig oft úr stað og eftir standa holur og pyttir. Þessi svæði eru því varasöm yfirferðar (ljósm. Helgi Torfason).

Á mynd 30 er samanburður á stöðu rannsókna á 20 virkjunarstöðum eða háhitasvæðum. Þar kemur fram, að þekkingarlega væri hægt að hefja rannsóknarboranir á 8 virkjunarstöðum á árinu 1983, en einungis þrjár virkjunarstaðir eru lengra komnir í rannsóknum (ef frá eru taldir þeir staðir sem eru í vinnslu). Það gefur því auga leið að rannsóknarboranir verða mesti flöskuhálsinn í náinni framtíð í því að þoka virkjunarstöðum á verkhönnunarstig.



MYND 30 Staða rannsókna á 20 virkjunarstöðum og háhitasvæðum.

Strangt tekið er ekki nauðsynlegt að gera yfirborðsrannsóknir eða fyrstu leit að nýjum virkjunarstöðum til þess að koma 2-3 virkjunarstöðum á verkhönnunarstig. Hins vegar er það talið æskilegt að samfella sé á öllum stigum jarðhitarannsókna, og það er nauðsynlegt að gæta þess að ávallt séu margir kostir fyrir hendi á fyrstu þrepum jarðhitarannsókna til þess að hægt sé að velja á milli nokkurra kosta hverju sinni.

Kostnaður við yfirborðsrannsóknir og fyrstu leit að virkjunarstað er hverfandi miðað við seinni þætti rannsókna, en skiptir hins vegar miklu máli fyrir tímalengd og mannafla. Einnig er nauðsynlegt að unnið sé samhliða á mörgum rannsóknarstigum til þess að mannafli nýtist sem best.

7 MEDALKOSTNAÐUR VIÐ RANNSÓKN Á EINUM VIRKJUNARSTAÐ

Í áætlunargerð sem þessari er gert ráð fyrir að meginhluti auðlindar komi til nýtingar, og að fyrirhuguð nýting muni standa undir þeim rannsóknarkostnaði sem er nauðsynlegur vegna nýtingar á meginhluta auðlindar. Það þýðir í raun, að gert er ráð fyrir að a.m.k. 50% af auðlind komi til nýtingar til þess að réttlæta þann rannsóknarkostnað sem hér er settur fram.

Í kafla 3 var rannsóknnum á háhitasvæðum skipt niður í áfanga og verkþætti. Þar kemur fram að það tekur skemmst sjö ár frá því að rannsóknir hefjast þar til virkjunarstaður kemst á verkhönnunarstig. Í eftirfarandi kafla verður fyrst og fremst fjallað um fræðilega skiptingu kostnaðar og mannafla við rannsókn háhitasvæða, þ.e. við að koma einum virkjunarstað á verkhönnunarstig. Hér er fyrst og fremst verið að sýna hvernig kostnaður og mannafli skiptist milli ára miðað við mismunandi forsendur í rannsóknnum háhitasvæða. Tillögur um raunverulega skiptingu milli ára, og raunveruleg markmið eru hins vegar sett fram í kafla 8. Í viðauka er að finna þau einingarverð sem notuð eru í þessari áætlun, og forsendur fyrir þeim, en öll einingarverð eru miðuð við verðlag í mars 1982.

Eins og fram kemur í kafla 6 eru jarðhitarannsóknir á einstökum háhitasvæðum mislangt á veg komnar. Þannig eru yfirborðsrannsóknir allvel á veg komnar á nokkrum svæðum og önnur eru komin á forhönnunarstig. Af þessu leiðir, að kostnaður við að koma einstökum háhitasvæðum á verkhönnunarstig er nokkuð mismunandi. Þá má einnig gera ráð fyrir misumfangsmiklum rannsóknnum eftir stærð svæða. Á víðáttumiklum háhitasvæðum þar sem búast má við fleirum en einum virkjunarstað er gert ráð fyrir að sá hluti rannsókna sem unninn er áður en rannsóknarboranir hefjast taki yfir háhitasvæðið allt, en seinni verkþættir takmarkist við einstaka virkjunarstaði.

Í töflu 6 er áætlaður sá mannafli og fjárþörf sem þarf til þess að koma 14 virkjunarstöðum á níu háhitasvæðum á verkhönnunarstig. Þar er gengið út frá þeirri áfangaskiptingu sem sett er fram í kafla 3, og stöðu rannsókna, eins og hún er rakin í kafla 6. Í töflunni er yfirborðsrannsóknnum skipt í tvo hluta, annars vegar eru þær rannsóknir sem gerðar eru á háhitasvæðinu í heild en hins vegar þær sem takmarkast við ákveðinn virkjunarstað. Þar kemur fram að það vantar minnst uppá til þess að koma Nesjavallasvæðinu á verkhönnunarstig eða um 47 millj. kr. Auk þess sýnir taflan, að þó að önnur svæði séu mismunandi á vegi stödd hvað varðar yfirborðsrannsóknir, þá er áætlaður viðbótarkostnaður til þess að ná verkhönnunarstigi tiltölulega svipaður, eða á bilinu 75-79 millj. kr., sem stafar af því að tiltölulega lítill hluti af heildarkostnaði liggur í yfirborðsrannsóknnum en þær taka hins vegar

TAFLA 6 KOSTNAÐARÁÆTLUN FYRIR FORATHUGUN OG FORBÖNNUN EINSTAKRA VIRKJUNARSTAPA

(Kostnaður í þúsundum króna miðað við verðlag í mars 1982).

Reykjanes	Eidvörp		Krisuvík		Hengill		Torfajökull		Námshöll		Reistar.		Óxarfj.		Önnur svæði	
	mán.- kostn. verk	mán.- kostn. verk	mán.- kostn. verk	mán.- kostn. verk	mán.- kostn. verk	mán.- kostn. verk	mán.- kostn. verk	mán.- kostn. verk	mán.- kostn. verk	mán.- kostn. verk	mán.- kostn. verk	mán.- kostn. verk	mán.- kostn. verk	mán.- kostn. verk	mán.- kostn. verk	mán.- kostn. verk
1-2 Leit að virkjunarstað	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12+3 726
3-4 Yfirborðs- rennsökn og skýrsla	4	176	35+3	1720	53+3	2530	135+42	8712	23+2	1144	-	-	31+4	1628	46+10 2684	
VIRKJUNARSTAPUR																
Yfirborðsrennsökn	7+6	704	29+11	2276	8+6	748	7+6	704	7+6	704	14+10	1276	22+11	1968	18+10 1540	
5 Rennsóknarboranir	45	27281	45	27281	45	27281	45	27281	45	27281	45	27281	45	27281	45	27281
6 Ath. á viðbrögðum geyms	30	2100	30	2100	30	2100	30	2100	30	2100	30	2100	30	2100	30	2100
7 Rennsóknvirkjunarst.	12	1140	12	1140	12	1140	12	1140	12	1140	12	1140	12	1140	12	1140
8 Skýrsla um forathugun	12	360	12	360	12	360	12	360	12	360	12	360	12	360	12	360
9 Drög að nýr- ingaráætlun	6	180	6	180	6	180	6	180	6	180	6	180	6	180	6	180
10 Reynsluboranir	45	42381	45	42381	45	42381	45	42381	45	42381	45	42381	45	42381	45	42381
11 Fyrsta mat á vinnslueiginl. hagkvæmni	6	180	6	180	6	180	6	180	6	180	6	180	6	180	6	180
12 Fyrsta mat á hagkvæmni	6	180	6	180	6	180	6	180	6	180	6	180	6	180	6	180
13 Forðætlun	18	540	18	540	18	540	18	540	18	540	18	540	18	540	18	540
Samtals þús. kr.	75222	77478	75950	75886	75886	47071	78786	78786	76190	75618	77938	79292				
Mánaðarverk	155	239	212	142	267	267	267	267	218	228	248	279				
Ársverk	14	22	19	13	24	24	24	24	20	21	23	25				

umtalsverðan tíma.

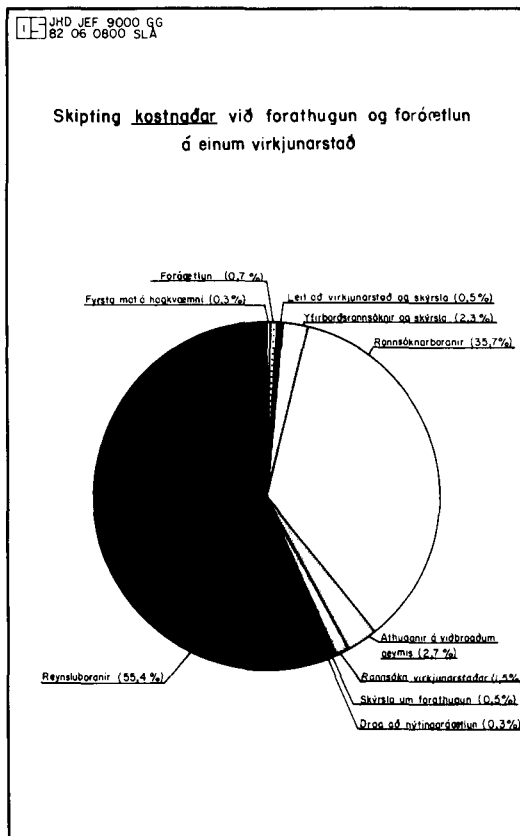
Kostnaður við boranir, bæði rannsóknarboranir og reynsluboranir, er yfirgnæfandi í rannsókn háhitasvæða. Mannaflinn hefur hins vegar nokkuð aðra dreifingu. Til að sýna þennan mun eru myndir 32 og 33 gerðar.

Á mynd 32 er sýnt hvernig meðalkostnaður við forathugum og forhönnun við rannsókn á einum virkjunarstað skiptist milli einstakra verkþátta. Er þá reiknað með háhitasvæði þar sem er einn virkjunarstaður og allur kostnaður við yfirborðsrannsókn komi óskiptur inn í dæmið. Þar kemur fram að um 92% af áætluðum heildarkostnaði fara í boranir rannsókn- og reynsluborhola. Mynd 33 sýnir skiptingu mannafla (þ.e. sérfræðinga á Jarðhitadeild Orkustofnunar) milli einstakra verkþátta fyrir ímyndað meðalsvæði. Þar kemur fram, að leit að virkjunarstað og yfirborðsrannsóknir taka um 19% af áætlaðri mannaflapörf Jarðhitadeildar við að koma virkjunarstað á verkhönnunarstig, en þessir verkþættir taka eingöngu um 3% af áætluðum heildarkostnaði eins og fram kom hér að framan. Annar mannfrekur þáttur er athugun á viðbrögðum geymis sem tekur 14% af áætlaðri mannaflapörf, en rannsóknaboranir og reynsluboranir krefjast eingöngu 41% af mannafla miðað við 92% af áætluðum kostnaði.

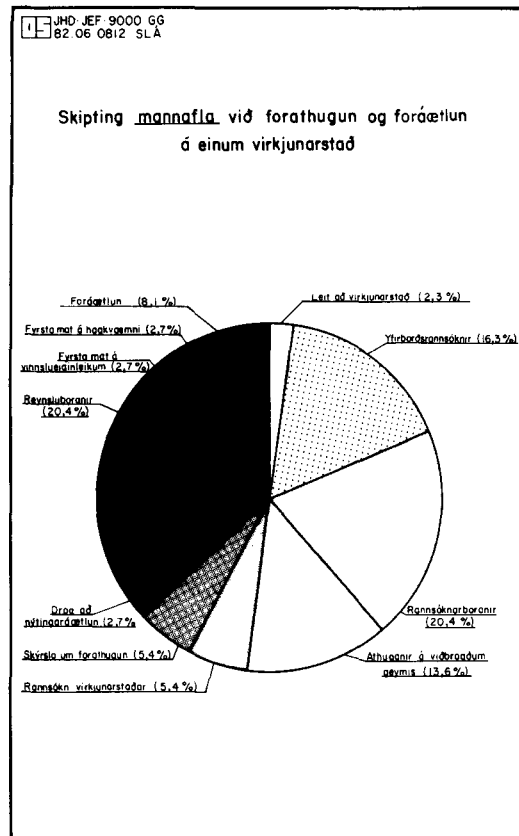
Þar sem kostnaður við boranir er svo yfirgnæfandi er skipting kostnaðar eftir árum mjög breytileg eftir því hvað rannsókn miðar.

Mynd 34 sýnir árlegan kostnað við rannsókn á einum ímynduðum virkjunarstað. Þar kemur fram, að fyrstur tvö árin, þegar leitað er að líklegum virkjunarstað og unnið er að yfirborðsrannsókn, er varið innan við 3% af áætluðu heildarfjármagni eða um 2,3 millj. króna samtals. Eftir að boranir hefjast er áætlaður árlegur kostnaður á bilinu 13-17 millj. króna, en ívið lægri síðasta árið eða um 10 millj. króna. Í töflu 6 sést einnig áætlaður sá mannafla, sem þarf til þess að framfylgja áætluninni, en eingöngu er metið starf sérfræðinga hjá Jarðhitadeild Orkustofnunar. Fram kemur í töflu 6 að af öllum virkjunarstöðunum eru Nesjavellir komnir lengst áleiðis í rannsókn og lítið vantar til að ljúka forhönnunarstigi, eða 141 mánaðarverk. Önnur þau svæði sem taflan tekur til liggja á bilinu 191-243 mánaðarverk, sem jafngildir því, að ef áætluðum rannsóknnum við einn virkjunarstað er lokið á 6 árum þarf 3-4 sérfræðing á ári fyrir hvern stað.

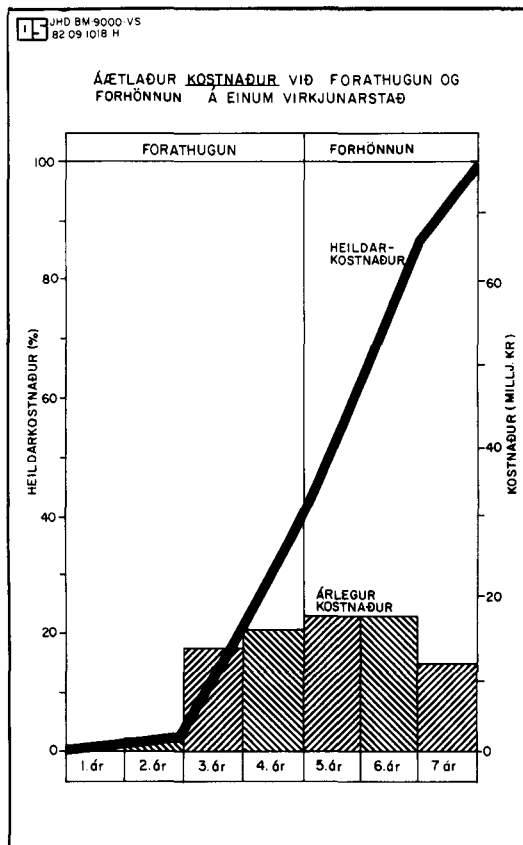
Svo sem rakið er í kafla 4 er það talin skynsamleg leið að leggja undir nokkur háhitasvæði á fyrstu stigum rannsókn, en velja síðan úr þau svæði eða virkjunarstaði, sem best þykja fallin til áframhaldandi rannsókn. Með þeirri aðferð er talið að dregið sé verulega úr áhættu, en þar sem fyrstu stig



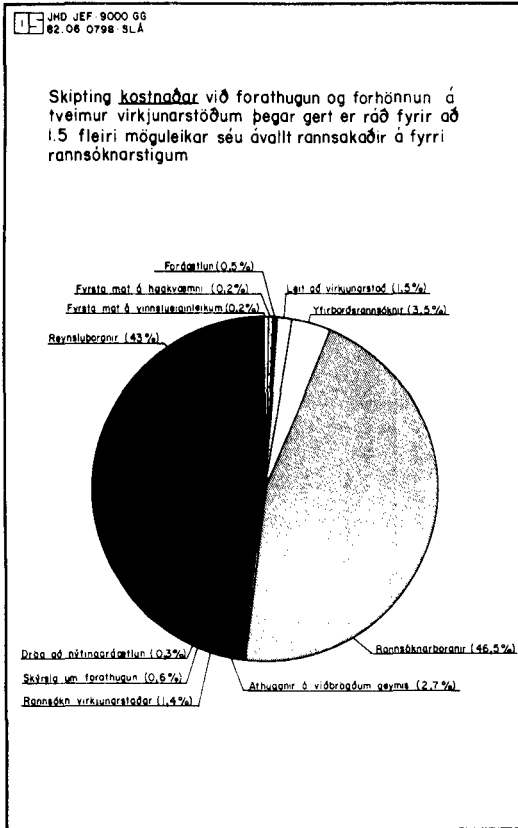
Mynd 32 Skipting kostnaðar við forathugun og forhönnun á einum virkjunarstað, í prósentum.



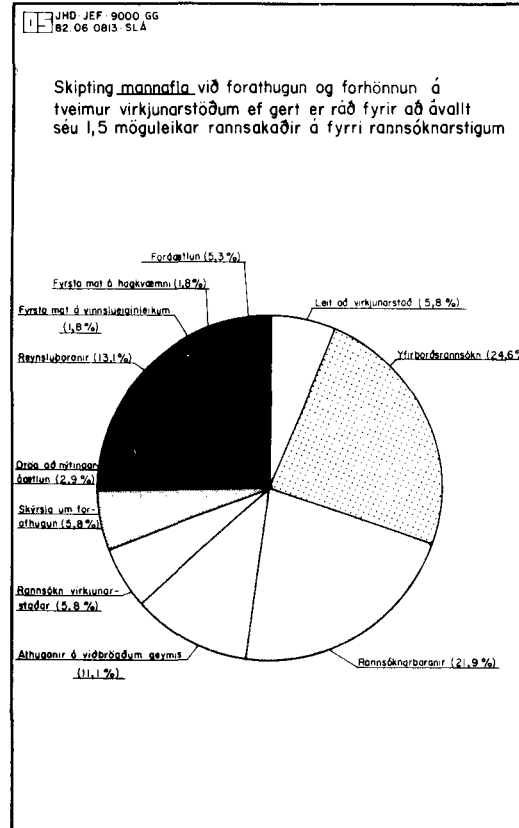
Mynd 33 Skipting mannafla við forathugun og forhönnun á einum virkjunarstað, í prósentum.



Mynd 34 Áætlaður árlegur kostnaður og heildarkostnaður við forathugun og forhönnun á einum virkjunarstað.



Mynd 35 Skipting kostnaðar við forathugun og forhönnun á tveimur virkjunarstöðum þegar gert er ráð fyrir að 1,5 fleiri möguleikar séu ávallt rannsakaðir á fyrri rannsóknarstigum.

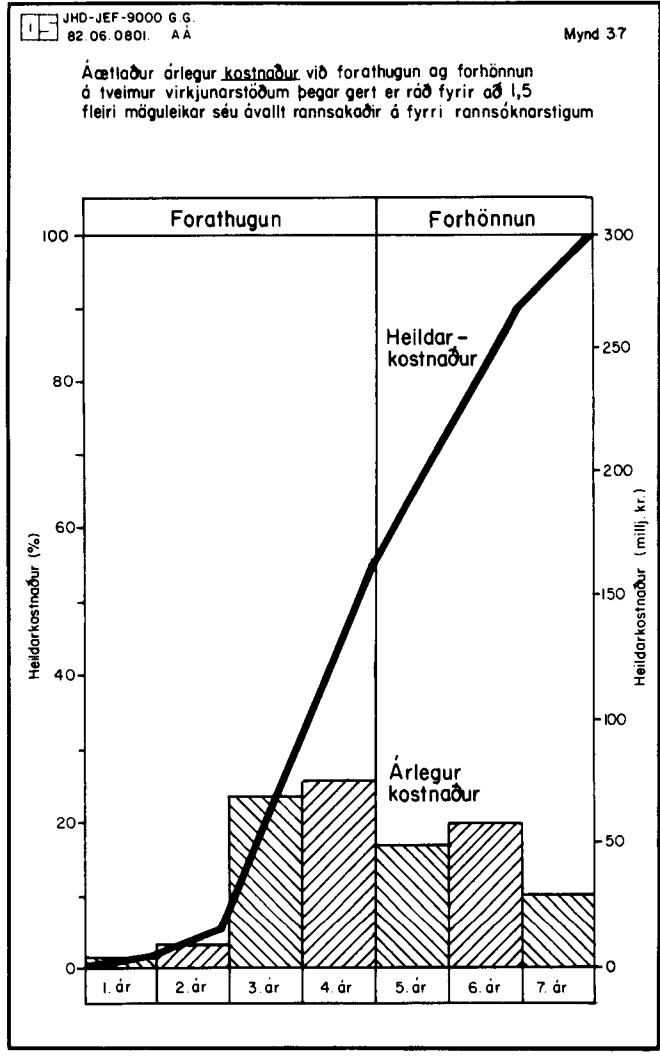


Mynd 36 Skipting mannafla við forathugun og forhönnun á tveimur virkjunarstöðum þegar gert er ráð fyrir að ávallt séu 1,5 möguleikar rannsakaðir á fyrri rannsóknarstigum.

rannsóknna eru svo ódýr miðað við boranir þá er kostnaðarauki hverfandi. Ef miðað er við útsláttarreglu 3:2 eins og lýst er í kafla 4 má fræðilega reikna dreifingu á kostnaði og mannafla við að koma tveimur ímynduðum virkjunarstöðum á verkhönnunarstig. Myndir 35 og 36 sýna hvernig

skipting í kostnað og mannafla verður ef þessar aðferðir eru notaðar. Gert er ráð fyrir að engar rannsóknir hafi verið gerðar, þannig að fyrsta árið er eingöngu unnið við leit að virkjunarstað á 12 svæðum eins og mynd 6 sýnir og síðan áætluninni fylgt þannig að tvö svæði verði komin á verkhönnunarstig að 7 árum liðnum. Á sama hátt og áður kemur mjög glögglega fram að skipting mannaflaa og fjármagns er mjög mismunandi. Kostnaður vegna borana er nálægt 90% af heildarkostnaði, en mannaflapörf vegna borana er einungis 35% af heildarmannaflapörf.

Mynd 37 sýnir síðan hvernig kostnaður skiptist milli ára ef unnið er samkvæmt þeirri rannsóknaleið sem lýst var hér að framan (sjá mynd 6). Heildarkostnaður við að koma tveim virkjunarstöðum á verkhönnunarstig er talin vera um 300 Mkr., en kostnaður við rannsóknir fyrstu tvö árin er lítil eða um 5% af heildarkostnaði.



Mynd 37 Áætlaður árlegur kostnaður og heildarkostnaður við forathugun og forhönnun á tveimur virkjunarstöðum þegar gert er ráð fyrir að 1,5 fleiri möguleikar séu ávallt rannsakaðir á fyrri rannsóknarstigum.

Í þessum kafla eru metin árlegur kostnaður og mannaflapörf við rannsóknir á háhitasvæðum landsins. Tvær leiðir eru athugaðar. Annars vegar að tveir nýir virkjunarstaðir komist á verkhönnunarstig í árslok 1987. Hins vegar leið sem felur í sér nokkru minna átak í byrjun en leiðir til þess að tveir virkjunarstaðir komist á verkhönnunarstig í árslok 1988, en að síðan komist ávallt tveir virkjunarstaðir á verkhönnunarstig á þriggja ára fresti.

Fyrri leiðin, sem fjallað er um í kafla 8.1, er í samræmi við þingsályktun frá 19. maí 1981. Síðari leiðin sem er heldur hægari í byrjun, er lýst í kafla 8.2. Í báðum tilvikum er notuð sú aðferð að velja aðeins hluta af mögulegum virkjunarstöðum til áframhaldandi rannsókna (sjá kafla 4). Notað er hlutfallið 2:3 þannig að af þrem mögulegum virkjunarstöðum haldi rannsókn áfram á tveim. Þá er einnig reynt að dreifa borunum sem jafnast á ár, í samræmi við áður nefnda þingsályktun.

Til þess að mannafla nýtist vel er æskilegt að rannsóknir á mismunandi rannsóknarstigum fari fram samhliða. Tekið er tillit til þessa í báðum tilvikum. Svo sem fram kemur í kafla 6 er skortur á rannsóknarborholum mikill annmarki á núverandi þekkingu háhitasvæða. Hvort sem valin er fljótari eða hægari leið verða rannsóknarboranir á allra næstu árum sá flöskuháls sem ákvarðar hvernær markmiði er náð.

8.1 Tveir virkjunarstaðir eftir fimm ár

Yfirlit um niðurröðun framkvæmda er sýnt í töflu 7. Gert er ráð fyrir að rannsóknarboranir verði gerðar í Eldvörpum, Trölladyngju, Vestur-Hengli, á Þeistareykjum og í Krísuvík. Eldvörp eru fyrst og fremst hugsuð sem stækkunarmöguleiki fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Fyrir svo stórt fyrirtæki er nauðsynlegt að gera vissar öryggisaðgerðir, eins og þær að hafa vísan jarðhita til reiðu ef eitthvað óvænt kæmi fyrir jarðhitakerfið við Svartsengi. Auk þess gæti jarðhiti í Eldvörpum opnað möguleika á iðnaðarnýtingu (fiskiðnaður), t.d. í Grindavík.

Nýtingarmöguleikar á svæðunum á Nesjavöllum, Vestur-Hengli, Krísuvík og Trölladyngju eru annars vegar tengdir framtíð Hitaveitu Reykjavíkur, en hins vegar gufuöflun til iðnaðarnota. Nokkuð augljóst er að Hitaveita Reykjavíkur þarf að taka ákvkvörðun nálægt 1985 um það hvernig viðbótarvatnsöflun fyrir næstu áratugi verður háttað. Ein leið í þessum efnum er vinnsla háhita. Þau svæði, sem þá koma til álita eru Nesjavellir, Vestur-Hengill, Hengladalir, Sveifluháls og Trölladyngja. Til þess að hægt sé að velja á

TAFLA 7 Yfirlit um rannsókn háhitasvæða ef tveir virkjunarstaðir komast á verkhönnunarstig í árslok 1987

	1983	1984	1985	1986	1987
LEIT	Sandfell	Brennisteinsfjöll	Fremrinámar	Kerlingarfjöll	Hrúthálsar
YFIRBORÐSRANNSÓKNIR	Torfajökull I Krisuvík	Torfajökull I Torfajökull II	Torfajökull II Torfajökull III	Torfajökull III Óxarfjörður	XXX XXX
	Hengill	Námafjall			
RANNSÓKNARBORANIR	Eldvörp Trölladyngja V-Hengill Peistareykir	Eldvörp Trölladyngja V-Hengill Peistareykir Krisuvík	Eldvörp Trölladyngja V-Hengill Peistareykir Krisuvík	Krisuvík AAA BBB CCC	CCC BBB AAA
REYNSLUBORANIR	Nesjavelliir	Nesjavelliir	Nesjavelliir MM	MM NN	MM NN NN
HOLUFJÖLDI					
rannsóknarholur	4	5	5	4	3
reynsluholur	1	1	2	2	3
samtals	5	6	7	6	6

Svæði eftir: Hengladalur, Hverarönd o.fl.

milli þessara staða á raunhæfum grundvelli, og til þess að hægt sé að bera saman háhitanytingu við lághitanytingu, þarf að þoka þessum virkjunarstöðum lengra áleiðis í rannsóknnum, helst á verkhönnunarstig. Auk þessarar nýtingar liggja öll þessi svæði mjög vel við nýtingu til iðnaðar. Nú þegar liggja fyrir drög að nýtingaráætlun til magnesíumframleiðslu sem gæti gilt fyrir öll þessi svæði. Aðrir nýtingarmöguleikar eru gufuveita til höfuðborgarsvæðisins til ýmiss smáiðnaðar og til notkunar í fiskiðnaði (fiskimjölsverksmiðjur) í þessum landshluta.

Á Norðausturlandi er Þeistareykjasvæðið valið til áframhaldandi rannsókna með rannsóknaborunum. Vegur þar þungst nálægð við byggð á Húsavík og möguleikar til iðnaðarnota fyrst og fremst í fiskiðnaði. Háhitasvæðið sem talið er vera í Öxarfirði er eitt af fáum háhitasvæðum landsins sem er í byggð. Hins vegar er rannsókn tiltölulega skammt á veg komin, og þykk setlög nálægt yfirborði gætu gert vinnslu þar erfiða. Auk þess eru eignarréttindasjónarmið þrándur í Götu.

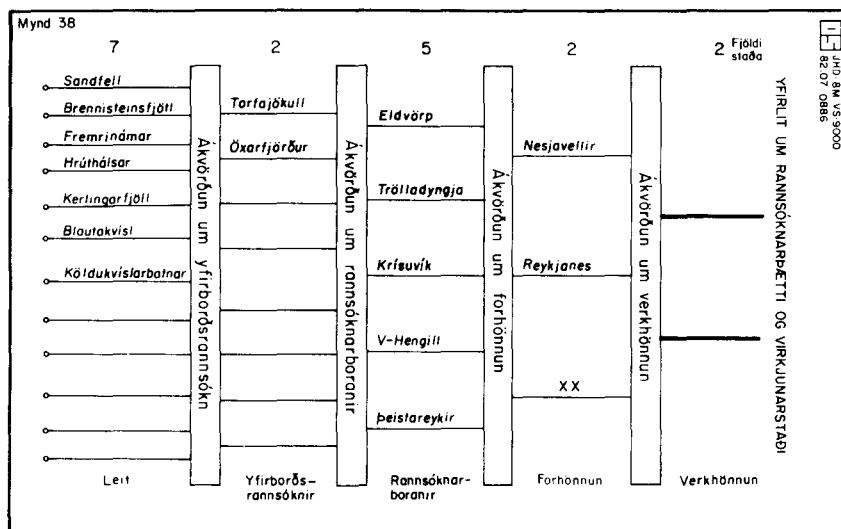
Í yfirborðsrannsóknum er gert ráð fyrir að koma jarðhitasvæðunum við Torfajökul og í Öxarfirði á það stig að hægt sé að taka ákvörðun um rannsóknarboranir. Auk þess verður nokkuð bætt við yfirborðsrannsóknir í Krísuvík, Hengli og við Hverarönd.

Til þess að ná því markmiði að tveir virkjunarstaðir verði á verkhönnunarstigi að fimm árum liðnum er strangt tekið ekki nauðsynlegt að fara í fyrstu leit að nýjum virkjunarstað á næstu fimm ára tímabili. Hér er þó reiknað með að þessum mjög svo ódýru frumrannsóknum verði haldið áfram samhliða öðrum áföngum rannsókna. Er því reiknað með að fyrsta leit fari fram árlega á einu af svæðunum í Sandfelli, Brennisteinsfjöllum, við Fremrináma, í Kerlingarfjöllum og við Hróthálsa. Þessar athuganir eru forsenda þess að unnt verði að taka ákvarðanir um hvar heppilegt er að gera yfirborðsrannsóknir á árunum 1987-1991.

Í töflu 7 eru framkvæmdaþættir hvers árs einungis nafngreindir fyrstu þrjú árin, en gert ráð fyrir að umfang rannsókna verði svipað seinni tvö árin. Reiknað er með að fyrstu tvö árin verði reynsluboranir einungis á Nesjavöllum. Næstu tvö árin aukist sá fjöldi í tvær holur á ári en þrjár reynsluholur verði boraðar 1987. Fjöldi borhola á ári er að meðaltali sex holur.

Mynd 38 sýnir yfirlit um hvaða rannsóknir er reiknað með að gerðar verði á tímabilinu 1983-1987 og hvaða virkjunarstaðir koma inn í hverjum áfanga.

Tafla 8 sýnir árlegan kostnað og þörf mannafla fyrir árin



Mynd 38 Rannsóknarþettir á 17 virkjunarstöðum og háhitasvæðum miðað við að tveir virkjunarstaðir verði komnir á verkhönnunarstig eftir 5 ár.

TAFLA 8 Kostnaður og mannaflaskipting miðað við að tveir virkjunarstaðir komist á verkhönnunartig í árslok 1987

	1983			1984			1985			1986			1987		
	M	F	kostn.	M	F	kostn.	M	F	kostn.	M	F	kostn.	M	F	kostn.
1-2 Fyrsta leit	JF	6		6			6			6			6		
að virkjunarstað	JE	2	2 624	2	2 624	2	2 624	2	2 624	2	2 624	4	4 960		
	EF	2		2		2			2			4			
3-4 Yfirborðsrann- sóknir og skýrsla	JF	35		14		10		13		16					
	JE	49	13 5764	37	16 4724	26	14 2970	29	11 2770	50	11 4626				
	EF	26		28		10		4		16					
4 Rannsóknar- boranir	JF	4		4		8		6		6					
	JE	16	11	29	21	16	7	12	9	18	12				
	EF	16		20		20		16		12					
	BM	16	21364	16	40456	20	65554	16	30118	12	26202				
	BJ	16		16		20		16		12					
	RE	12		12		15		12		9					
6 Viðbrögð geymis	EF	-		4		6		4		6					
	BM	2	420	10	2380	14	3192	6	1428	12	2860				
	RE	4		20		28		12		24					
7 Rannsókn virkjunarstaðar	JF	-		4		5		1		3					
	VF	8	760	6	1330	-	950	16	1710	2	760				
	AN	-		4		5		1		3					
8 Skýrsla um forathugun	JF	-		-		8		2		-					
	JE	-		-		8		2		-					
	EF	-		-		8		2		-					
	BM	-		-		8	1440	2	360	-					
	BJ	-		-		3		2		-					
	RE	-		-		8		2		-					
9 Nýtingaráform	VF	-		-		24	720	6	180	-					
10 Reynslu- boranir	JF	-		-		2		-		4					
	JE	-		-		2		-		4					
	EF	4	14127	4	14127	8	28254	8	28254	8	28254				
	BM	4		4		8		8		8					
	BJ	4		4		8		8		8					
	RE	3		3		6		6		6					
11 Fyrsta mat á vinnslueiginleikum	EF	-		1		1		1		3					
	BM	-		-		1		-		2					
	BJ	-		-	60	1	120	-	60	2	300				
	RE	-		1		1		1		3					
12 Mat á hagkvæmni	VF	-		-		6	180	-	-	12	360				
13 Foráætlan	VF	-		-		-		18	540	36	1080				
SUMMA		229	26 43059	253	39 63701	329	23 104004	242	22 66044	311	27 65402				
ÁRSVERK		20,8		23,0		29,9		22,0		28,3					

M = Mánaðarverk F = flokksvikur kostn = kostnaður í þús.kr. miðað við verðlag í mars 1982.

JF = jarðfræði BJ = borholujarðfræði
 JE = jarðeðlisfræði RE = straumfræði (reservoir eng.)
 EF = efnifræði VF = verkfræði
 BM = borholumælingar AN = annað, umhverfisath. o.þ.h.

1983-1987. Árlegur kostnaður og umsvif rannsókna fara stigvaxandi fyrstu þrjú árin og ná hámarki árið 1985 þar sem heildarkostnaður það árið er áætlaður 105 Mkr og mannaflapörf samsvarar 30 ársverkum. Síðan dregur úr umsvifum og kostnaði þannig að tvö síðustu árin er kostnaður um 65 Mkr og mannaflapörf samsvarar um 25 ársverkum (sjá töflu 9).

Heildarkostnaður yfir fimm ára tímabil er áætlaður 343.686.000 krónur og heildarmannaflapörf 125 ársverk. Að meðaltali er kostnaður því nálægt 69 Mkr á ári og mannaflapörf 25 ársverk á ári. Mynd 39 sýnir árlega mannaflapörf og kostnað árána 1983-1987.

Á árinu 1985 er bæði kostnaður og mannaflapörf mun meiri en hin árin. Slíkar aðstæður eru óheppilegar bæði frá sjónarhorni rannsókna og fjármögnunar. Hins vegar er mjög erfitt að losna við þennan topp ef uppfylla á kröfuna um tvo virkjunarstaði á verkhönnunarstigi í árslok 1987. Meðal annars af þessum sökum var athuguð sú leið sem lýst er í kafla 8.2, þ.e.a.s. að tveir virkjunarstaðir komist ekki á verkhönnunarstig fyrr en í árslok 1988.

Annar galli á þeirri lausn sem hér hefur verið rakin er sá að mannaflapörfin er mjög veruleg eða 20-30 ársverk á ári. Þetta þýðir að nauðsynlegt væri að bæta við um 5 starfsmönnum á ári næstu 3 árin til rannsókna á háhitasvæðum - eða alls um 15 starfsmönnum á þriggja ára tímabili. Slík aukning í mannafla er erfið í framkvæmd af þrem ástæðum:

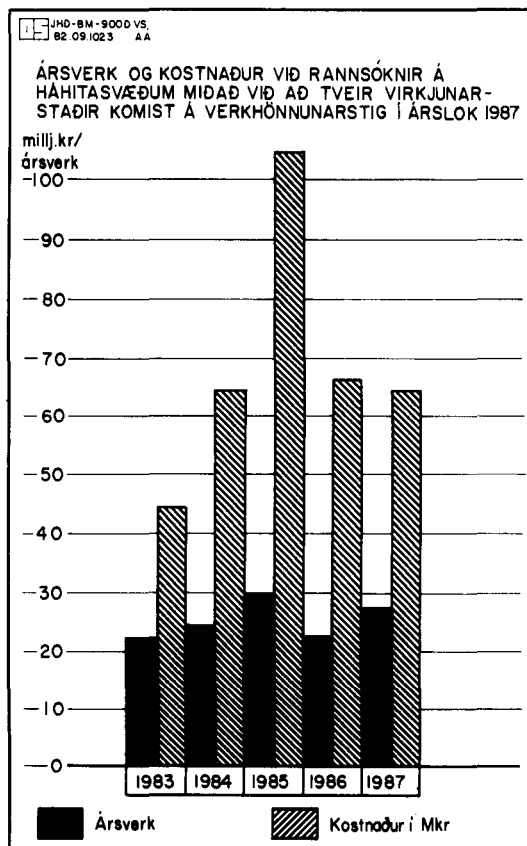
- 1) Erfitt verður að finna svo marga hæfa menn til jarðhitarannsókna á svo skömmum tíma. Framboð er takmarkað.
- 2) Starfsþjálfun í jarðhitarannsóknum tekur langan tíma.
- 3) Mjög mikill tími hjá núverandi starfslíði mundi fara í þjálfun á nýju fólki.

Miðað við þann fjölda starfsmanna sem nú eru við jarðhitarannsóknir má ætla að aukning um 2-3 menn á ári sé viðráðanleg. Í þeirri lausn sem rakin er í kafla 8.2 er eitt af skillyrðunum sem sett eru að starfsmannaaukning sé innan viðráðanlegra marka.

Af framansögðu er ljóst að trúlega er hægt að ná með samilegu öryggi því markmiði að tveir virkjunarstaðir verði á verkhönnunarstigi í árslok 1987. Hins vegar verður að spenna bogann nokkuð hátt bæði hvað varðar mannafla og fjármagn.

TAFLA 9. Skipting mannafla í mánaðarverk miðað við að tveir virkjunarstaðir komist á verkhönnunarstig í árslok 1987

	1983	1984	1985	1986	1987	Mán.- verk alls	Árs- verk alls	Meðaltal mannár á ári
Jarðfræði	45	30	39	28	35	177	16,1	3,2
Jarðeðlisfræði	67	68	54	45	76	310	28,2	5,6
Jarðefnafræði	48	59	55	37	49	248	22,5	4,5
Borholumælingar	22	30	51	32	34	169	15,4	3,1
Borholujarðfr.	20	20	37	26	22	125	11,4	2,3
Geymsverkfr.	19	36	58	33	42	188	17,1	3,4
Verkfræði	8	6	30	40	50	134	12,2	2,4
Annað	-	4	5	1	3	13	1,2	0,2
Summa	229	253	329	242	311	1364	124	24,8
Ársverk	20,8	23,0	29,9	22,0	28,3			



Mynd 39 Ársverk og kostnaður við rannsóknir á háhitasvæðum miðað við að tveir virkjunarstaðir komist á verkhönnunarstig í árslok 1987. Hraðari leiðin.

8.2 Tveir virkjunarmöguleikar eftir sex ár. Jafnvægi í mannafla og fjárbörf

Í kafla 8.1 hér að framan er minnst á tvo galla sem eru því samfara að koma tveim virkjunarstöðum á verkhönnunarstig í árslok 1987. Annars vegar verður fjárbörf mjög breytileg frá ári til árs. Hins vegar verður börf mjög skjótrar aukningar í mannafla.

Eðlilegur tímastuðull í jarðhitarannsóknnum er langur (5 ár) og í flestum tilfellum líða 5-10 ár frá því að jarðhitarannsóknir eru gerðar þar til nýting hefst. Skyndilegar breytingar, til aukningar eða minnkunar, falla því illa að eðli jarðhitarannsókna. Heppilegasta fyrirkomulegið er að umfang og fjármagn breytist lítið frá ári til árs. Hins vegar mega breytingarnar vera merkjanlegar ef litið er til 5-10 ára.

Í þessum kafla er lýst lausn sem gæti verið heppilegt umfang háhitarannsókna fram að aldamótum. Þau skilyrði sem gengið er út frá eru þessi:

- 1) Jafnvægi í fjárbörf og mannaflabörf ef litið er til 10-15 ára tímabils.
- 2) Ávallt komist tveir virkjunarstaðir á verkhönnunarstig á þriggja ára fresti þegar litið er til langs tíma.

Það er hins vegar látið ráðast hvenær fyrstu virkjunarstaðirnir komast á verkhönnunarstig - þ.e. hvenær jafnvægi næst.

Til þess að ná fram langtíma jafnvægi er ekki nóg að athuga fimm ára tímabil, heldur verður að athuga 15-20 ár. Tafla 10 er yfirlit um helstu framkvæmdaþætti 1983-1997. Til þess að tveir virkjunarstaðir komist á verkhönnunarstig á þriggja ára fresti þýðir jafnvægislausnin að bora þarf fjórar holur á ári, tvær rannsóknarholur og tvær reynsluholur. Í töflu 10 sést að jafnvægi kemst á strax árið 1986 og helst eftir það. Fyrstu tveir virkjunarstaðirnir komast á verkhönnunarstig í árslok 1988 eða aðeins ári seinna en gert var ráð fyrir í kafla 8.1. Í yfirborðsrannsóknum er gert ráð fyrir að rannsókn á einum virkjunarstað spanni tvö ár, en að fyrsta leit að virkjunarstað sé gerð annað hvert ár. Þó umfang þessara rannsóknarþátta sé hlutfallslega minna en á sviði rannsóknar- og reynsluborana verða þessir þættir ekki takmarkandi á því 15 ára tímabili sem tafla 10 sýnir. Stafar það af því að í reynd er verið að ganga á þann sjóð sem safnað hefur verið í á sviði yfirborðsrannsókna. Það er því nokkuð ljóst að ef ekki á að koma til vandræða strax upp úr aldamótum er nauðsynlegt að tvöfalda umfang yfirborðsrannsókna miðað við það sem sýnt er í töflu 10. Sú

TAFLA 10. Aftlun um rannsóknir á hábitatsvæðum 1983-1997. - Yfirlit, ef tveir virkjunarstaðir verða kommir á verkhönnarstig í árslok 1988

	1983	84	85	86	87	88	89	1990	91	92	93	94	95	96	97
Fyrsta leit að virkjunarstað			Sand- fell	Torfa- jökull I	Torfa- jökull I	Brenni- steins- fjöll	Torfa- jökull II	Torfa- jökull III	Kerling- arfjöll	Frú- hálsar	Frú- hálsar	Blaut- kvíslar	Blaut- kvíslar		Köldu- kvíslar- botnar
Yfirborðs- rannsóknir	Krispík	Ónar- fjórður	Náma- fjall	Torfa- jökull I	Torfa- jökull I	Torfa- jökull I	Torfa- jökull II	Torfa- jökull III	Torfa- jökull III	KKK	KKK	LLL	LLL	MMM	MMM
Rannsóknar- boranir	Eldstöpp 600 m	Eldstöpp 1200 m	Eldstöpp 1800 m	Krispík 1800 m	Krispík 1800 m	Hvera- rönd 1200 m	Ónar- fjórður 600 m	Ónar- fjórður 1800 m	Torfa- jökull X 600 m	Torfa- jökull X 1800 m	Torfa- jökull X 1800 m	Torfa- jökull Y 600 m	Torfa- jökull Y 1200 m	Torfa- jökull Y 1800 m	Torfa- jökull Y 1800 m
	Trölla- dyngja 1200 m	Trölla- dyngja 1800 m	Vestur Hengill 1800 m	Hvera- rönd 1200 m	Hvera- rönd 1800 m	Hengilla- dalir 600 m	Hengilla- dalir 1200 m	Hengilla- dalir 1800 m	Hengilla- dalir 1800 m	Ókeldu- háls 1200 m	Ókeldu- háls 1200 m	Ókeldu- háls 1800 m	Ókeldu- háls 600 m	Ókeldu- háls 1200 m	Ókeldu- háls 1800 m
	Vestur Hengill 600 m	Vestur Hengill 1200 m	Peista- reykir 600 m	Peista- reykir 1200 m	Peista- reykir 1800 m	Peista- reykir 1800 m	Peista- reykir 1800 m	Peista- reykir 1800 m	Peista- reykir 1800 m	Peista- reykir 1800 m	Peista- reykir 1800 m	Peista- reykir 1800 m	Peista- reykir 1800 m	Peista- reykir 1800 m	Peista- reykir 1800 m
Reynslu- boranir	Nesja- vellir	Nesja- vellir	Nesja- vellir	AAA BBB	AAA BBB	AAA BBB	AAA BBB	CCC DDD	CCC DDD	EFE FFF	EFE FFF	EFE FFF	EFE FFF	EFE FFF	EFE FFF
Hölufréðsla bor - km	5 4,8	5 7,2	4 7,2	4 5,4	4 6,6	4 6,0	4 6,6	4 6,6	4 6,0	4 5,4	4 6,6	4 6,0	4 5,4	4 6,6	4 6,0
Virkjunarstaðir á verkhönnar- stigi							Tveir		Fjórir						Átta

aukning þarf að koma til framkvæmda um 1990.

Þar sem lausnin sem sýnd er í töflu 10 er í langtíma jafnvægi þarf ekki að sýna kostnaðaráætlun nema fyrir fyrstu árin. Tafla 11 sýnir mannaflapörf og fjárförf á ári á tímabilinu 1983-1989. Vegna þess skilyrðis að tveir virkjunarstaðir komist á verkhönnunarstig á þriggja ára fresti kemur fram minniháttar sveifla með þriggja ára períóðu í áætluninni. Ekki hefur þótt ástæða að jafna út þessa sveiflu. Mynd 40 er stólparit sem sýnir hvernig kostnaður og mannaflapörf er á árunum 1983-1996. Þriggja ára períóða kemur vel fram.

Á þessu 15 ára tímabili er meðalkostnaður á ári um 53 Mkr og meðal mannaflapörf 17,7 ársverk. Breytingar frá ári til árs í fjármagni og mannafla eru ekki það miklar að til trafala ætti að vera við framkvæmd áætlunarinnar. Heildaraukning í mannafla til háhitarannsóknna ætti ekki að vera meira en sex til átta starfsmenn. Ef sú aukning fer fram á þriggja ára tímabili þýðir það 2-3 nýja starfsmenn á ári, sem er talið yfirstíganlegt (sjá töflu 12).

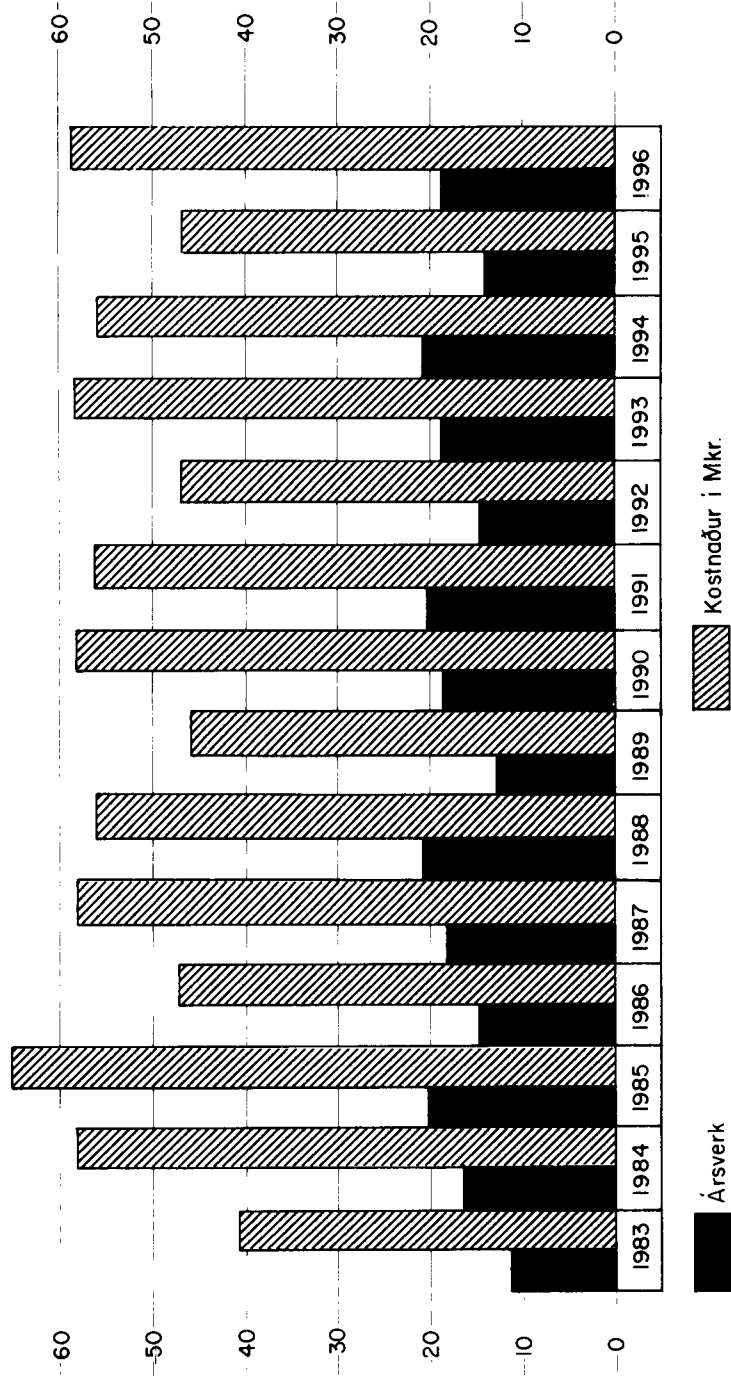
Þó að sérstakir virkjunarstaðir séu nafngreindir til rannsóknaborana í töflu 10 allt fram til 1996, gefur það auga leið að ekki er raunhæft að gera ráð fyrir slíkri nákvæmni svo langt fram í tímann. Þessir virkjunarstaðir eru einungis nafngreindir til þess að sýna hvernig lausnin er byggð upp en vitaskuld er í seinni hluta töflunnar ekki nákvæmt í hvaða röð virkjunarstaðirnir koma. Fyrstu þrjú árin er gert ráð fyrir borunum í Eldvörpum, Trölladyngju, Vestur-Hengli, á Þeistareykjum og á Nesjavöllum. Eru þetta sömu virkjunarstaðir og taldir eru í töflu 7 og gilda því sömu rök fyrir vali þeirra og rakin voru í kafla 8.1.

Svo sem hér hefur verið rakið eru meginkostir þessarar leiðar þeir að mannaflaaukning til háhitarannsóknna er mjög viðráðanleg. Árlegur kostnaður er nokkuð jafn og árangur rannsóknna er talinn vera í samræmi við óskir þjóðfélagsins, að svo miklu leyti sem hægt er að skilgreina þær óskir á þeim tíma sem þessi áætlun er gerð. Auk þessa er áætlunin byggð upp þannig að áhætta er minnkuð verulega fram yfir þann kost að rannsókn sé einskorður við fyrirfram ákveðna virkjunarstaði.

Það eru því mörg rök sem styðja það að rannsókn íslenskra háhitasvæða fram til aldamóta verði einna best háttað með því að fylgja þeirri leið sem lýst er hér í kafla 8.2.

ÁRSVERK OG KOSTNAÐUR VIÐ RANNSÓKNIR Á HÁHITASVÆÐUM MIÐAD VIÐ AD TVEIR VIRKJUNARSTADIR
KOMIST Á VERKHÖNNUNARSTIG Í ÁRSLOK 1988

Ársverk - Mkr. 70



TAFLA 11. Kostnaður og mannaflaskipting 1983-1989 miðað við að tveir virkjunarstaðir komist á verkhönnunartig í árslok 1988

		1983			1984			1985			1986			1987			1988			1989			
		M	F	Kostn.	M	F	Kostn.	M	F	Kostn.	M	F	Kostn.	M	F	Kostn.	M	F	Kostn.	M	F	Kostn.	
1-2	Fyrsta leit að virkjunarstað	JF	-	-	-	-	4	-	2	-	4	-	2	-	2	-	4	-	2	-	2	-	4
		JE	-	-	-	-	-	-	216	2	2	361	-	216	2	2	361	-	216	2	2	361	216
		EF	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
3-4	Yfirborðs- rannsóknir og skýrsla	JF	12	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
		JE	6	2	1184	11	4	1289	16	4	1328	12	6	1473	12	6	1473	12	6	1473	12	6	1473
		EF	6	-	8	-	-	4	-	6	-	-	6	-	6	-	6	-	6	-	6	-	6
5	Rannsókn- boranir	JF	6	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		JE	14	4	16	9	12	6	44308	8	6	13896	8	6	23296	8	6	20096	8	6	13896	8	6
		EP	22	-	24013	22	40261	22	44308	8	6	13896	8	6	23296	8	6	20096	8	6	13896	8	6
		BM	16	-	16	-	12	-	8	-	8	-	8	-	8	-	8	-	8	-	8	-	8
		BJ	16	-	16	-	12	-	8	-	8	-	8	-	8	-	8	-	8	-	8	-	8
		RE	12	-	12	-	9	-	6	-	6	-	6	-	6	-	6	-	6	-	6	-	6
6	Viðbrögð geymis	EF	-	-	-	-	-	-	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
		BN	2	260	6	606	6	779	6	1039	6	1039	6	1039	6	1039	6	1039	6	1039	6	1039	1039
		RE	4	-	8	-	12	-	12	-	12	-	12	-	12	-	12	-	12	-	12	-	12
7	Rannsókn virkjunarstaðar	JF	-	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		VF	8	146	6	606	6	606	6	606	3	303	3	303	3	303	3	303	3	303	3	303	303
		AN	-	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	Skýrsla um forathugun	JF	-	2	6	6	6	6	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-
		JE	-	2	6	6	6	6	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-
		EF	-	2	6	6	6	6	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-
		BM	-	2	520	6	1560	6	-	2	520	2	520	2	520	2	520	2	520	2	520	2	-
		BJ	-	2	6	6	6	6	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-
		RE	-	2	6	6	6	6	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-
9	Nýtingaráform	VF	-	8	346	24	1040	-	-	8	346	8	346	8	346	8	346	8	346	8	346	8	-
10	Reynslu- boranir	JF	-	2	-	-	-	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		JE	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
		EF	4	14380	4	14466	4	14380	8	28888	8	28888	8	28888	8	28888	8	28888	8	28888	8	28888	28888
		BM	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
		BJ	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
11	Fyrsta mat á vinnslu- eiginleikum	EF	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-
		BM	1	2	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-
		BJ	1	173	1	303	1	173	2	346	2	650	2	650	2	650	2	650	2	650	2	650	-
		RE	1	2	1	2	2	2	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	-
12	Hagkvæmni	VF	-	-	-	6	260	-	-	6	260	12	520	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Foráttun	VF	-	-	-	-	-	-	-	18	780	36	1560	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Summa		146	40356	186	58397	220	64650	157	46609	201	57771	225	55756	142	45815							
	Ársverk		13,3	16,9	20,0	14,3	18,3	20,4	12,9														

JF = jarðfræði
JE = jarðeðlisfræði
EF = efnifræði
BM = borholunálingar

BJ = borholujarðfræði
RE = straumfræði (reservoir eng.)
VF = verkfræði
AN = annað, umhverfisath. o.p.h.

M = mánaðarverk
F = flokksvika (4 manna fl. samarþólk)
Kostn. = kostnaður í þúsundum króna

TAFLA 12. Skipting mannafla í mánaðarverkum 1983-1989 ef gert er ráð fyrir að tveir virkjunarstaðir komist á verkhönnunarstig í árslok 1988

	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	Mán.- verk alls	Árs- verk alls	Meðaltal Ma á ári
Jarðfræði	18	18	22	19	21	19	19	136	12,4	1,8
Jarðeðlisfræði	23	32	37	29	29	31	27	208	18,9	2,7
Jarðefnafræði	33	38	38	31	33	33	29	227	20,6	2,9
Borholumalingar	23	30	29	24	27	27	22	182	16,5	2,4
Borholujarðfr.	21	23	23	18	20	20	16	141	12,8	1,8
Geymis verkfr.	20	27	31	26	34	34	24	196	17,8	2,5
Verkfræði	8	14	36	6	35	59	3	161	14,6	2,1
Annað	-	4	4	4	2	2	2	18	1,6	0,2
Summa	146	186	220	157	201	225	142	1269	115	16,5
Ársverk	13,3	16,9	20,0	14,3	18,3	20,4	12,9			

9 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

1. Sem varmi er jarðhiti 5-10 sinnum ódýrari í vinnslu en önnur orkuform hér á landi. Hagkvæmasta nýting háhita er því varmanotkun til dæmis í iðnaði eða til annarrar upphitunar.
2. Gufuveita til iðnaðarnota er jafn sjálfsögð og hitaveita til húshitunar.
3. Rannsóknnum á háhitasvæðum er skipt í þrjá áfanga, forathugun, forhönnun og verkhönnun. forathugun tekur minnst 4 ár, forhönnun minnst 3 ár og verkhönnun a.m.k. 1 1/2 ár. Skemmsti tími frá því að rannsókn byrjar þar til orkuvinnsla hefst er 11 ár.
4. Jarðhitarannsóknnum fylgir nokkur fjárhagsleg áhætta. Til þess að minnka hana má nota þá aðferð að velja aðeins þá álitlegustu af fyrirliggjandi kostum til áframhaldandi rannsókna hverju sinni. Vinnuhópurinn hefur komist að þeirri niðurstöðu að við hverja ákvarðanatöku sé nauðsynlegt að geta valið tvö af þrem svæðum (hlutfallið 2:3) til áframhaldandi rannsókna. Sé það heppilegur meðalvegur þegar kostnaður er borinn saman við fjárhagslega áhættu.
5. Kostnaður vegna borframkvæmda er 90% af heildarkostnaði við rannsóknir háhitasvæða.
6. Fjarlægð virkjunarstaðar til markaðs skiptir mestu máli þegar forgangsröð háhitasvæða til rannsókna er valin. Í náninni framtíð eru rannsóknir á háhitasvæðunum á Reykjanesi, í Eldvörpum, Krísuvík, Hengli, við Torfajökul, í Námafjalli, á Þeistareykjum og í Öxarfirði taldar hafa forgang fram yfir rannsóknir á öðrum háhitasvæðum.
7. Krafla (Hveragil), Námafjall (Bjarnarflag) og Svartsengi eru þegar virkjuð. Forhönnun er lokið í Hveragerði. Reykjanes og Nesjavellir eru á forhönnunarstigi. Hægt er að taka ákvörðun um rannsóknarboranir í Eldvörpum, Trölladyngju, við Sveifluháls, Ölkelduháls í Hengladölum, Vestur-Hengli, við Hverarönd og á Þeistareykjum. Öxarfjörður og Torfajökulssvæðið eru á stigi yfirborðsrannsókna. Önnur svæði eru skemmra á veg komin í rannsókn.
8. Í þessarri áætlun voru athugaðar tvær leiðir í rannsókn háhitasvæða. Annars vegar leið, þar sem tveir virkjunarstaðir verði á verkhönnunarstigi að fimm árum liðnum og hins vegar að sex árum liðnum. Kostnaður og mannaflabörf er eftirfarandi miðað við verðlag í mars 1982.

Hraðari leið Hægari leið

(5 ár) (6 ár)

Áætlaður heildarkostnaður Mkr.	343.686	326.163
Áætlaður árlegur kostnaðu Mkr.	69	54
Mannaflapörf heildarársverk	125	101
Mannaflapörf ársverk á ári	25	17

9. Sú leið að hafa tvo virkjunarstaði á verkhönnunarstigi að fimm árum liðnum krefst verulegrar aukningar á umsvifum og mannafla jarðhitadeildar Orkustofnunar fyrstu árin. Hægari leiðin, að hafa tvo virkjunarstaði á verkhönnunarstigi að sex árum liðnum, krefst nokkurrar aukningar í starfsliði Jarðhitadeildar en kostnaður og mannaflapörf er mun jafnari frá ári til árs.
10. Miðað við núverandi stöðu rannsókna á þeim virkjunarstöðum sem áætlunin nær til er áætlaður kostnaður við að koma hverjum þeirra á verkhönnunarstig á bilinu 75-80 millj. króna.

Þakkir

Meðan á samningu þessarar skýrslu stóð, naut vinnuhópurinn þarflegra ábendinga þeirra Guðmundar Pálmasonar og Sveinbjörns Björnssonar. Axel Björnsson, Guðmundur Pálmason, Hrefna Kristmannsdóttir, Ingvar Birgir Friðleifsson, Jakob Björnsson, Jens Tómasson, Karl Ragnars og Kristján Sæmundsson lásu yfir handrit skýrslunnar og bentu á margt til bóta. Vinnuhópurinn þakkar öllum þessum aðilum þarfar ábendingar og sýndan áhuga á þessu verki.

Heimildaskrá

- Árnason, Bragi, Theodorsson, Páll, Björnsson, Sveinbjörn & Sæmundsson Kristján 1969: Hengill, a high temperature thermal area in Iceland. Bull. Volcanol., 33, 1:245-259.
- Arnórsson, Stefán 1977: Changes in the chemistry of water and steam discharged from wells in the Námafjall Geothermal Field, Iceland, during the period 1970-76. Jökull, 27, : 47-59.
- Barth, Tom. F. W. 1950: Volcanic geology, hot springs and geysers of Iceland. Carnegie Inst., Wasington, Pub. 587: 174 s.
- Benedikt Steingrímsson & Valgarður Stefánsson 1979: Nesjavellir. Hitastig og þrýstingur á jarðhitasvæðinu. Orkustofnun, OS79032/JHD15: 31 s.
- Bragi Árnason o.fl. 1969: Sjá Árnason, Bragi o.fl. 1969
- Böðvarsson, Gunnar 1956: Natural Heat in Iceland. Funfte Weltkraftkonferenz Wien 1956, Paper 197 K/8: 7.
- Böðvarsson, Gunnar 1961: Physical characteristics of natural heat sources in Iceland. Jökull, 11:29-38
- Chaturvedi, Lokesh & Guðmundur Pálmason 1967: Interpretation of an infrared imagery of Mývatn area. Orkustofnun, Jarðhitadeild: 16 s.
- Einarsson, Páll & Sveinbjörn Björnsson 1979: Earthquakes in Iceland. Jökull, 29: 37-43.
- Eysteinn Tryggvason 1973: sjá Tryggvason, Eysteinn 1973.
- Foulger, G. & Páll Einarsson 1979: Recent Earthquakes in the Hengill-Hellisheiði area in SW-Iceland. Raunvísindastofnun Háskólans, RH-79-7: 17 s.
- Gestur Gíslason & Halldór Ármannsson 1981: Sýnataka á Þeistareykjum í september og október. Orkustofnun, Greinargerð GG-HÁ-81/07: 2 s.
- Grönvold, Karl 1972: Structural and geochemical studies in the Kerlingarfjöll region, central Iceland. Doktorsritgerð við Oxford Háskóla :237 s.
- Guðmundur Guðmundsson, Guðmundur Pálmason, Karl Grönvold, Karl Ragnars, Kristján Sæmundsson & Stefán Arnórsson 1971: Námafjall-Krafla. Áfangaskýrsla um rannsókn jarðhitasvæðanna. Orkustofnun, Jarðhitadeild: 81 s.

- Guðmundur Kjartansson 1962: Jarðfræðikort af Íslandi. Kort 6, Mið-suðurland. Menningarsjóður, Reykjavík.
- Guðmundur Pálmason 1962: Hiti í borholum á Íslandi. Náttúrufræðingurinn, 32: 102-112.
- Guðmundur Pálmason 1980: Jarðhitinn sem orkulind. Náttúrufræðingurinn, 50: 147-156.
- Guðmundur Pálmason o.fl. 1970: Sjá Pálmason, Guðmundur o.fl. 1970.
- Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Gísli Karel Halldórsson & Karl Ragnars 1982: Mat á jarðvarma Íslands. Orkustofnun, Jarðhitadeild, í undirbúningi.
- Guðrún Larsen 1982: Basaltiske spalte udbrud af explosiv karakter fra Torfajökull-Veiðivötn spalte sværmen i Syðisland. Í "Abstracts. 15, Nirdusje Geologiske Vintermöde, Reykjavík 5.-8. janúar 1982: 2-3.
- Guðrún Larsen o.fl. 1979: Sjá Larsen, Guðrún o.fl. 1979.
- Gunnar Böðvarsson 1956 og 1961: Sjá Böðvarsson, Gunnar 1956 og 1961.
- Haukur Tómasson 1981: Vatnsafl á Íslandi. Mat á stærð orkulindar. Erindi flutt á orkuþingi í júní 1981: 14 s.
- Johnstrup, F. 1886: Om de vulkanske Udbrud og Solfatarerne i den nordöstlige Del af Island. Naturhistoriske Foren. Festskrift: 149-198.
- Jón Jónsson 1977: Tvíbollar og Tvíbollahraun. Náttúrufræðingurinn, 47: 103-109.
- Jón Jónsson 1978: Jarðfræðikort af Reykjanesskaga. I. Skýringar við jarðfræðikort. II. Jarðfræðikort. Orkustofnun, OS-JHD-7831, Textahefti: 303 s. 12 m. 21 kortablað í sér kassa. :PM Jón Jónsson 1979: Kristnit'kuhraunið. Náttúrufræðingurinn, 49: 46-50.
- Jón Jónsson 1982: Um Ögmundarhraun og aldur þess. Í "Eldur er í Norðri". Afmælisrit helgað Sigurði Þórarinssyni sjötugum, 8. janúar 1982. Sögufélagið, Reykjavík: 193-198.
- Karl Grönvold 1972: Sjá Grönvold, Karl 1972.
- Karl Grönvold & Ragna Karlsdóttir 1975: Þeistareykir - Áfangaskýrsla um yfirborðsrannsóknir jarðhitasvæðisins. Orkustofnun, OS-JHD 7501: 26 s.

- Karl Ragnars, Halldór Ármannsson & Benedikt Steingrímsson 1979: ÖLFUSDALUR - Mælingar í borholum G-3, G-6, og G-7, framvinduskýrsla. Orkustofnun, OS79053/JHD25: 51 s.
- Kristján Sæmundsson 1972: Jarðfræðiglefsur frá Torfajökulssvæði. Náttúrufræðingurinn, 42: 81-99.
- Kristján Sæmundsson 1967 og 1974: Sjá Sæmundsson, Kristján 1967 og 1974.
- Kristján Sæmundsson & Ingvar Birgir Friðleifsson 1980: Jarðhiti og jarðfræðirannsóknir. Náttúrufræðingurinn, 50: 157-188.
- Larsen, Guðrún, Grönvold, Karl, & Thorarinnsson, Sigurður 1979: Volcanic eruption through a geothermal borehole at Námafjall, Iceland. Nature, 278, no. 5706, 707-710.
- Nafnlaus 1981: Orka á Íslandi 1981. Fylgirit með Orkumálum nr.33. Orkustofnun, 24 s.
- Layugan, D.B. 1981: Geoelectrical sounding and its application in the Theistareykir high-temperature area, NE-Iceland. Orkustofnun/UNU Geothermal Training Programme, Iceland, Report 1981-5: 101 s.
- Linneau, P & Baldur Líndal 1974: mynd 1 byggð á gögnum frá þeim í D.N. Anderson J.W. Lund (ritstj). Direc utilization of geothermal energy: a technical handbook. Geoth. Res. Council Spes. Report no. 7, Fig. 1,4-6.
- Lúðvík S. Georgsson 1979: Svartsengi. Viðnámsmælingar á utanverðum Reykjanesskaga. Orkustofnun, OS79042/JHD20: 100 s.
- Páll Einarsson & Sveinbjörn Björnsson 1979: Sjá Einarsson & Sveinbjörn Björnsson 1979.
- Pálmason, Guðmundur, Friedman, J.D., Williams, R.s., Jr., Jónsson, Jón & Sæmundsson, Kristján 1971: Aerial infrared surveys of Reykjanes and Torfajökull thermal areas, Iceland, with a section on cost of exploration surveys. Geothermics (1970), Special Issue 2, 1: 399-412.
- Piper, J.D.A. 1979: Outline volcanic history of the west of Vatnajökull, central Iceland. Journ. Volcanol. and Geoth. Res., 5: 87-98.
- Sigurður Skúlason 1933: Saga Hafnarfjarðar. Um Brennisteinsfjöll, bls 348-350. Bæjarsjóður Hafnarfjarðar.
- Stefán Arnórsson 1977: Sjá Arnórsson, Stefán 1977.

- Stefán Arnórsson, Guðmundur Guðmundsson, Axel Björnsson, Stefán G. Sigurmundsson, Jón Jónsson, Sveinbjörn Björnsson, Gestur Gíslason, Einar Gunnlaugsson & Páll Einarsson 1975: Krísuvíkursvæði. Heildarskýrsla um rannsókn jarðhitans. Orkustofnun, OS-JHD-7554: 71 s.
- Stefánsson, Valgarður 1978: Geothermal activity in the Axarfjörður area. Abstract from a conference dedicated to professor Trausti Einarsson. Jökull, 28: 110.
- Sveinbjörn Björnsson 1969: Áætlun um rannsókn háhitasvæða. Orkustofnun, Jarðhitadeild: 18 s.
- Sveinbjörn Björnsson 1974: Afl og ending Hengilssvæðisins. Orkustofnun, Jarðhitadeild: OS-JHD-7514: 3 s.
- Sveinbjörn Björnsson, Birna Ólafsdóttir, Jens Tómasson, Jón Jónsson, Stefán Arnórsson & Stefán G. Sigurmundsson 1971: Reykjanes. Heildarskýrsla um rannsókn jarðhitasvæðisins. Orkustofnun, Jarðhitadeild: 122 s.
- Sæmundsson, Kristján 1967: Vulkanismus und Tektonik des Hengill-Gebietes in Sudvest-Island. Acta Nat. Isl., 2, 7: 105 s.
- Sæmundsson, Kristján 1974: Evolution of the axial rifting zone in northern Iceland and the Tjörnes Fracture Zone. Geol. Soc. Am. Bull., 85: 495-504.
- Trausti Hauksson 1980: Svartsengi. Efnasamsetning heits grunnvatns og hitaveituvatns. Orkustofnun, OS80023/JHD12: 38 s.
- Trausti Hauksson 1981: Reykjanes. Styrkur efna í jarðsjó. Orkustofnun, OS81015/JHD10: 53 s.
- Tryggvason, Eysteinn 1973: Seismicity, earthquake swarms and plate boundaries in the Iceland region. Bull. Seismol. Soc. Am., 63, 3:1327-1358.
- Valgarður Stefánsson 1978: Sjá Stefánsson, Valgarður 1978
- Stefánsson, Valgarður 1978: Geothermal activity in the Axarfjörður area. Abstract from a conference dedicated to professor Trausti Einarsson.. Jökull 28: 110.
- Valgarður Stefánsson 1980: Jarðhitakerfið í Krísuvík. Dagskrá og ágríp, Ráðstefna um jarðhita að Hótel Loftleiðum, Jarðfræðafélag Ísl.: 41-43-
- Ward P.L. and Björnsson, Sveinbjörn 1971: Microearthquakes, swarms and the geothermal areas of Iceland. J. Geophys. Res., 76: 3953-3982.
- Þorvaldur Thoroddsen 1899-1905: Landskjálftar á Íslandi. Hið Íslenska bókmenntafélag, Kaupmannahöfn: 269 s.

VIÐAUKI , EININGARVERÐ NOTUÐ I ÁÆTLUN

Til að áætla kostnað var gengið út frá eftirfarandi einingarverðum.

1. Mannmánuður - útvinnna (rannsóknir og gagnasöfnun í felti)
2. Mannmánuður - innvinnna (úrvinnsla)
3. Flokksmánuður - útvinnna (mælingaflokkur í felti)
4. 600 m djúp rannsóknahola
5. 1200 m djúp rannsóknarhola
6. 2000 m djúp reynsluhola
7. Jarðfræðilegar og jarðeðlisfræðilegar rannsóknir og mælingar tengdar hverri holu

Við þá útreikninga er fylgja hér á eftir er stuðst við eftirfarandi forsendur.

1. Launakerfi BHM
2. Gjaldskrá jarðhitadeildar OS og reynslutölur undanfarinna ára hvað varðar magn mælinga o.fl.
3. Gjaldskrá Jarðborana ríkisins og þekktar forsendur um magn (sement, gel o.fl.)
4. Efniskaup eru áætluð fyrir hverja gerð borholu og 100% lagt á innkaupsverð (cif) en það er reynslutala hvað varðar opinber gjöld o.fl.
5. Aðkeypt þjónusta við boranir er ekki nákvæmt áætluð
6. 1 US \$ = 10,44 kr., 1 DM = 4,45 kr
7. Allt verðlag er frá 1. mars 1982
8. Byggingarvísitala í mars 1982 var 909 stig

1. Mannmánuður - útvinnna 70.000 kr.

Föst laun	1,0	
Yfirtíð	1,2	
Launat. gj., orlof, veikindi, yfirstjórn o.fl.	0,7	
	2,9	
Lf. BHM 110, 11.175x2,9 =		32.407
Bifreiðakostn. 1200x23x0,8		22.080
Uppihald - ferðakostn. o.fl.		15.000
		<u>69.487 kr.</u>

2. Mannmánuður - innivinnna 30.000 kr.

Föst laun	1,0	
Yfirtíð	0,4	
Launat. gj., orlof, veikindi, yfirstjórn o.fl.	0,7	
Teiknistofa, tölvuvinnsla o.fl.	0,6	
	2,7	
Lf. BHM 110, 11,175x2,7 =		<u>30.172 kr.</u>

3. Flokksmánuður - útvinnna 290.000 kr.

Forsendur: 4 menn, 11 d. úthald, 14 tíma á dag, BHM 105

Laun:(72 t x 56 kr + 82 t x 85 kr)x4x1,2	52.800
Tækjaleiga 11 d x 1.500 kr/d	16.500
Bifreiðakostn. 11 d x 1200 kr/d	13.000
Uppihald og ferðakostn. 500 kr x4 x11 d + 5000	27.000
Ófyrirséð 20%	<u>21.900</u>
Flokksmánuður, 131.400 x 2,2	<u>289.080 kr.</u>

4. 600 m rannsóknahola 4,2 Mkr.

Forsendur:

Fóðringar:	10 3/4" 60 m, 8 5/8" 250 m, 6 5/8" 600 m. allis 28,264 kg: 25,7 kr/kg =726,384 kr
Sement:	v/10 3/4" 700 l, v/8 5/8" 2000 l
Vinna:	7 menn, 110 t/d = 13.200 kr/d
Olía:	1000 l/d x 3,65 kr/l x 1,1 = 4.015 kr/d
Borkrónur:	12 1/4", 190.000 x 0,5 = 95.000 kr 9 7/8", 110.000 x 0,5 = 55.000 kr 7 3/8", 85.000 x 1,0 = 85.000 kr
Borleðja:	250 m x 27,56 l/m x 2 = 13.780 l 60 m x 76,04 l/m x 2 = 9.124 l 22,904 l x 5% = 1,1 t gel
Steypustykki:	9 5/8 Float Collar, 38.000 kr " " Shoe, 15.200 kr Miðjustillar 12 stk, 17.000 kr

Holutoppur: Flans á 9 5/8" fóðringu og
kæfingarloki, 150.000 kr
Holuloki, 300.000 kr
Upphengja v/leiðara, 90.000 kr

Uppihald 7 menn x 460 kr/d = 3.220 kr/d

Bílar 1.200 kr/d

Kostnaðaráætlun

Borplan, vegagerð	150.000
Tímakostn. bors 40.000 x 23 d	920.000
Efni	2.110.000
Aðkeypt þjónusta	330.000
Ófyrirséð 20%	700.000
	<u>4.210.000 kr.</u>

5. 1200 m rannsóknahola 7,4 Mkr

Forsendur:

Fóðringar: 18 5/8" 40 m, 9 5/8" 300 m, 7 5/8" 900 m
alls 60.328 kg; 25,7 kr/kg = 1.550.429 kr

Sement: v/18 5/8" 4,628 l, v/9 5/8" = 12.029 l

Vinna: 7 menn, 110 t/d = 13.200 kr/d

Olía: 1100 l/d x 3,65 kr/l x 1,1 = 4.416 kr/d

Borkrónur: 12 1/4"; 190.000 x 1,0 = 190.000 kr
8 1/2"; 97.000 x 1,0 = 97.000 kr

Borleðja: 300 m x 76,04 l/m x 2 = 45.624 l
45.624 l x 5% = 2,3 t gel

Steypustykki: 9 5/8" Float Collar, 38.000 kr
" " Shoe, 15.200 kr
Miðjustillar 15 stk, 21.200

Holutoppur: Flans á 9 5/8" fóðringu og
kæfingaloki, 150.000 kr
Holuloki, 300.000 kr
Upphengja v/leiðara, 90.000 kr

Uppihald: 7 menn x 460 kr/d = 3.220 kr/d

Bílar 1.200 kr/d

Kostnaðaráætlun

Borplan forborun og vegagerð	500.000
Tímakostnaður bors 44.100 x 30 d	1.323.000
Efni	3.918.000
Aðkeypt þjónusta	455.000
Ófyrirséð 20%	1.239.000
	<u>7.435.000 kr.</u>

6. 2000 m reynsluhola 13,6 Mkr.

Forsendur:

Fóðringar: 18 5/8" 40 m; 13 3/8" 300 m; 9 5/8" 700 m; 7 5/8" 1300 m. alls 130.000 kg; 25,7 kr/kg = 3.341.000 kr
Sement: v/8 5/8" 4.628 l; v/13 3/8" 19.320 l;
v/9 5/8" 20.861 l
Vinna: 16 menn 200 t/d = 24.000 kr/d
Olía: 2000 l/d x 3,65 kr/l x 1,1 = 8.030 kr/d
Borkróður: 17 1/2"; 330.000 x 0,5 = 165.000 kr
12 1/4"; 190.000 x 0,5 = 95.000 kr
8 1/2"; 97.000 x 1,0 = 97.000 kr

Borleðja: 300 m x 155,2 l/m x 4 = 46.560 l
400 m x 76,04 l/m x 4 = 30.416 l
76,976 l x 5% = 3,8 t gel
Steypustykki: 13 3/8" Float Collar, 47.500 kr
" " Shoe, 17.100 kr
Miðjustillar 10 stk., 32.300 kr

Holutoppur: Flans á fóðringu, þenslustykki
og kæfingaloki, 300.000 kr
2 holulokar, 600.000 kr
Upphengja v/leiðara, 90.000 kr

Uppihald: 16 menn x 460 kr/d = 7.360 kr/d

Bílar: 1.200 kr/d

Kostnaðaráætlun

Borplan, vegagerð forborun	700.000
Tímakostn. bors 100.000 x 35 d	3.500.000
Efni	5.950.000
Aðkeypt þjónusta	1.150.000
Ófyrirséð 20 %	<u>2.260.000</u>
	<u>13.560.000 kr.</u>

7. Jarðfræðilegar og jarðeðlisfræðilegar rannsóknir og mælingar tengdar borun hverrar holu (2000 m reynsluhola)

Jarðfræðingar útvinnna	1,5 mannmán.	
Mælingamenn útvinnna	3,0 "	
Jarðefnafræðingur útvinnna	1,0 "	
Hydrolog útvinnna	<u>0,5 "</u>	
	6,0 mannmán.	420.000
Jarðfræð. úrvinnsla	1,5 mannmán	
Mælingamenn úrvinnsla	1,0 "	
Jarðefnafræð. úrvinnsla	1,0 "	
Hydrolog úrvinnsla	<u>0,5 "</u>	
	4,0 mannmán	120.000
Mælingabílar, sýnatökubílar og önnur tæki og mælingar í folti		<u>360.000</u>
		<u>900.000 kr</u>