

ORKUSTOFNUN

Ársfundur Orkustofnunar 1995

Reykjavík

22. mars 1995



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Ársfundur Orkustofnunar 1995

Reykjavík

22. mars 1995

Orkustofnun - OS-95010

ISBN 9979-827-53-X

ÁRSFUNDUR ORKUSTOFNUNAR 1995

Haldinn miðvikudaginn 22. mars kl. 13:30 að Borgartúni 6

Efni fundarins:

- Raforkunotkun á Íslandi fram til 2015*
- Hvernig er hagkvæmast að sjá fyrir henni?*
- Hvaða undirbúningsrannsóknir þarf til?*

Dagskrá:

- 13:30 *Ávarp iðnaðarráðherra, Sighvats Björgvinssonar.*
 - 13:45 *Raforkunotkun á Íslandi fram til 2015. Hvernig verður henni mætt?*
Jakob Björnsson, orkumálastjóri.
 - 14:25 *Umræður*
 - 14:35 *Hvernig eru hagkvæmustu virkjunarkostir fundnir?*
 - 15:00 *Umræður*
 - 15:10 *Kaffi.*
 - 15:30 *Hverjir eru hagkvæmustu virkjunarkostirnir?*

Höfundar beggja síðastnefndu erindanna eru: Einar Tjörvi Elíasson, Halldór Pétursson, Hákon Aðalsteinsson og Valgarður Stefánsson.
 - 16:15 *Umræður.*
 - 16:25 *Fundarslit.* Sigþór Jóhannesson, formaður stjórnar Orkustofnunar.
 - 16:35 *Veggspjaldasýning.* Boðið upp á léttar veitingar.
 - 17:35 *Dagskrárlök.*
- Fundarstjóri: Haukur Tómasson, forstjóri Vatnsorkudeildar.

RAFORKUNOTKUN Á ÍSLANDI FRAM TIL 2015

- HVERNIG ER HAGKVÆMAST AÐ MÆTA HENNI? -

- HVAÐA UNDIRBÚNINGSRANNSÓKNIR ÞARF TIL? -

RAFORKUNOTKUN Á ÍSLANDI FRAM TIL 2015 -HVERNIG ER HAGKVÆMAST AÐ MÆTA HENNI ?- -HVAÐA UNDIRBÚNINGSRANNSÓKNIR ÞARF TIL ?-

Jakob Björnsson, orkumálastjóri

1. INNGANGUR

Venju samkvæmt mun ég í þessu erindi fyrst rekja í stuttu yfirliti starfsemi Orkustofnunar 1994, en vísa ykkur að öðru leyti til ársskýrslu stofnunarinnar þar sem starfsemin er ítarlega rakin. Þar á eftir mun ég snúa mér að aðalefni erindisins sem er að fjalla um raforkunotkun á Íslandi fram til 2015; hvernig ódýrast muni að sjá fyrir henni og um nauðsynlegar undirbúningsrannsóknir.

Við, sem tölum hér, höfum skipt með okkur verkum á þann hátt að ég mun fjalla um raforkueftirspurnina en aðrir lýsa þeim aðferðum sem beitt var við að finna á hvern hátt væri ódýrast að mæta eftirspurninni og hvaða niðurstöður liggja fyrir um það, og fjalla um nauðsynlegar rannsóknir á næstunni í ljósi þeirra. Um er að ræða þrjá fyrirlesara sem í sameiningu flytja erindi sem nefnist "Þróun raforkumarkaðar og nauðsynlegar orkurannsóknir" Fyrirlesararnir eru Halldór Pétursson, Hákon Aðalsteinsson og Valgarður Stefánsson

Sú athugun sem lýst er í þessu erindi er einn þáttur í viðleitni Orkustofnunar að tengja starfsemi sína nánar en áður við horfur í orkumálum á hverjum tíma til að geta einbeitt tíma og fé stofnunarinnar að þeim verkefnum fyrst og fremst eru aðkallandi.. Þessi viðleitni verður síðar víkkuð til að ná einnig til nýtingar jarðhitans til annars en vinnslu raforku.

2. ORKUSTOFNUN 1994

2.1 Vatnsorkurannsóknir

Eins og um nokkur undanfarin ár var aðaláherslan í vatnsorkurannsóknum stofnunarinnar 1994 (1) á svonefndu átaki í vatnsorkurannsóknum, (2) vatnamælingum víðsvegar um land sem ekki tengjast átakinu og (3) þróunarverkefnum í vatnsorkurannsóknum. Þá má nefna (4) yfirlit yfir innlendar orkulindir til raforkuvinnslu sem unnið var fyrir Iðnaðarráðuneytið og (5) vinnu við yfirlit yfir virkjanir norðan Vatnajökuls, sem einnig var unnin fyrir Iðnaðarráðuneytið. Mikil vinna var lögð í þessi yfirlit. Sú vinna kemur stofnuninni að miklu gagni í framtíðinni því að hún leiddi glöggt í ljós hvað við vitum vel og hvað lakar og hvar er brýn þörf fyrir betri vitneskju.

Nánar tiltekið beindist "átakið" að (1) Hraunavirkjun, (2) virkjunum í Jökulsá á Fjöllum og Jökulsá á Brú, (3) Merkgilsvirkjun og Villinganesvirkjun í Skagafirði; (4) Skaftárveitu til Tungnaár og virkjunum í Síðuvötnum, auk ýmissa smærri virkjana.

Almennar vatnamælingar, þ.e. mælingar sem ekki beinast sérstaklega að skilgreindum virkjunarkostum, fóru fram víðs vegar um land. Jöklamælingar fóru fram á Hofsjökli eins og um mörg undanfarin ár, Eyjabakkajökli og Þrándarjökli. Auk þeirra má nefna mælingar

á framhlaupum jökla sem voru venju fremur umfangsmikil 1994, eins og nánar getur um í ársskýrslunni.

Eins og áður voru unnin allmörg söluverk fyrir aðila innan og utan orkugeirans.

2.2 Jarðhitarannsóknir

Á jarðhitasviðinu er helst að nefna að fram var haldið rannsóknum á notkun háhita til raforkuvinnslu. Þær fólu í sér framhald hagkvæniathugana á jarðgufuvirkjun í Bjarnarflagi, en virkjun þar er notuð sem einskonar líkan af slíkum virkjunum staðlaðri stærð (20 MW) og gerð sem reistar yrðu á mismunandi háhitasvæðum. Ennfremur fóru fram yfirborðsrannsóknir á Ölkelduhálsi og við Torfajökul, frumrannsókn í Brennisteinsfjöllum og söfnun gagna víðs vegar að um grop og lekt bergs á háhitasvæðum úr um 400 bergsýnum. Fram fóru hermireikningar á niðurdælingu í háhitasvæði. Þetta verkefni er unnið í samstarfi Orkustofnunar og þeirra fyrirtækja sem nú nýta háhita hér á landi.

Þá var einnig fram haldið rannsókn á umhverfisáhrifum jarðhitavinnslu; sérstaklega á háhitasvæðum. Þetta verkefni er einnig unnið í samstarfi Orkustofnunar og helstu jarðhitánýtenda á Íslandi. Helstu þættir í því verkefni 1994 voru mælingar á gasi í andrúmslofti á virkjuðum háhitasvæðum og á afdrifum brennisteinsvetnis sem þar losnar; hæðar- og þyngdarmælingar á óvirkjuðum svæðum til undirbúnings því að fylgjast með áhrifum vinnslu þar; þróun á fjarkönnunarbúnaði, í samvinnu við Háskóla Íslands, til umhverfisrannsókna á háhitasvæðum og úrvinnsla úr smáskjálfta- og bygjubrotsmælingum í sama skyni.

Veruleg áhersla var lögð á þróunarverkefni í jarðhitarannsóknnum, eins og fram kemur í yfirlitinu yfir fjármál í ársskýrslunni. Þar er helst að nefna forrit til þrívíðrar túlkunar á svonefndum TEM-viðnámsmælingum; sjávarfallaleiðréttingar í þyngdarmælingum; smíði söfnunartækis fyrir þyngdarmæli; fræðilega úttekt á TEM- og Schlumberger viðnámsmælingum og margvísleg forrit til úrvinnslu á jarðeðlisfræði- og efnafræðigögnum.

Eins og áður voru unnin fjölmörg söluverk á sviði jarðhita á árinu, eins og nánar er greint frá í ársskýrslunni. Hitaveitur voru langstærstu verkkauparnir eins og áður.

Jarðhitaskólinn var rekinn með sama sniði og áður, en með fleiri nemendum en nokkru sinni fyrr, eða 15 frá 11 löndum. Frá upphafi skólans, 1979, hafa alls 147 nemendur frá 47 löndum lokið námi við hann. Starfsmaður HSB í Tókíó, dr. Abraham Bersat, heimsótti skólann á árinu og flutti m.a. þau ánægjulegu tíðindi að yfirmenn Háskóla Sameinuðu þjóðanna tækju gjarnan starfsemi Jarðhitaskólans hér á landi sem dæmi um framúrskarandi vel heppnuð verkefni innan ramma HSB.

2.3 Orkubúskaparrannsóknir

Gagnasöfnun um orkumál var með svipuðum hætti og áður. Upplýsingar um íslensk orkumál voru sendar með hefðbundnum hætti til alþjóðasamtaka eins og Sameinuðu þjóðanna, NORDEL, OECD og Alþjóðlega orkuráðsins, (WEC), og Norrænu ráðherranefndarinnar.

Fram var haldið vinnu við orkuspár á vettvangi Orkuspárnefndar. Á hennar vegum starfa þrír vinnuhópar sem fjalla um raforku, jarðhita og eldsneyti; allir með fulltrúum frá samstarfsaðilum þeim sem að nefndinni standa. Á árinu var unnið að nýrri jarðvarmaspá og eldsneytisspá og raforkuspáin frá 1992 endureiknuð.

2.4 Fjármál

Bókfærð útgjöld Orkustofnunar 1994 námu alls tæpum 364 milljónum króna borið saman við 357 milljónir 1993. Raunvirði útgjalda stofnunarinnar stóð því nánast í stað milli þessara ára. Fjárveitingar námu 207,9 milljónum króna en voru 221,5 milljónir árið á undan. Lækkun að raunvirði nemur 7,7 %. Sértekjur námu 150,2 milljónum króna en voru 161,2 1993. Lækkun að raungildi 8,4 %. Þess er hér að gæta að 1993 vann stofnunin stórt rannsóknarverkefni í tengslum við jarðgöng undir Hvalfjörð sem hækkaði tekjurnar það ár. Höfuðstóll Orkustofnunar í árslok var jákvæður um 9,2 % af rekstrartekjum ársins (fjárveitingu og sértekjum) borið saman við 10,1 % í árslok 1993 og 3,3 % í árslok 1992 og 1,8 % 1990.

Ég vek athygli á því að auk hins hefðbundna útdráttar úr ársreikningum stofnunarinnar er nú einnig í ársskýrslunni að finna yfirlit yfir það, í hvaða verkefni fé því var varið sem ríkið lagði stofnuninni til.

3. Raforkunotkun á Íslandi fram til 2015

- Hvernig er hagkvæmast að mæta henni ?
- Hvaða undirbúningsrannsóknir þarf til?

Ég er þá kominn að höfuðefni þessa erindis, og þessa ársfundar, að líta fram í tímann og huga að því hvernig þörf landsmanna fyrir raforku muni þróast fram til 2015; hvernig hagkvæmast verði að mæta þeirri þörf og hvaða rannsóknir muni þurfa til að undirbúa þær virkjanir sem ætlað er að mæta þessari þörf á hinn hagkvæmasta hátt sem kostur er á. Ég fjalla hér fyrst og fremst um raforkumarkaðinn, en aðrir munu lýsa því hvernig að því var staðið að finna ódýrustu leiðir til að sinna þessari orkuþörf og hvaða niðurstöður urðu af þeirri könnun. Orkustofnun hefur, eins og ykkur er kunnugt, það hlutverk að rannsaka orkulindir landsins og skilyrði til hagnýtingar þeirra. Það fé sem unnt er að verja til slíkra rannsókna er takmarkað. Því er mikilvægt að það sé notað á skilvirkan hátt. Til þess þarf að gera sér grein fyrir hvað sé mest aðkallandi og hvað síður. Viðleitnin til að nýta takmarkað fjármagn Orkustofnunar sem best er í rauninni kveikjan að þeirri athugun sem er aðalefni þessa ársfundar. Hún var unnin af hópi fjögurra starfsmanna stofnunarinnar á árinu 1994 undir stjórn orkumálastjóra. Í þeim hópi voru þeir Einar Tjörvi Eliasson, Halldór Pétursson, Hákon Aðalsteinsson og Valgarður Stefánsson.

3.1 Orkuspár og sviðsmyndir

Þegar rætt er um þarfir fyrir orku fram í tímann dettur líklega flestum í huga orkuspár. Slíkar spár hafa verið gerðar hér á landi reglubundið nú í meira en tvo áratugi af sérstakri samstarfsnefnd helstu aðila orkumála í landinu, svonefndri Orkuspárnefnd. En við erum í þeirri sérstöðu hér á landi að raforkufrekur iðnaður, stóriðja svonefnd, á nú þegar stærri hlut

í raforkunotkuninni í heild en í nokkru öðru iðnríki, í kringum 50 %. Og hann fer vaxandi. Í Noregi, þar sem einnig er mikil stóriðja, er þessi hluti um 30 %. Til þessa hafa allar ávarðanir um meiriháttar raforkufrekan iðnað hér á landi komið til kasta Alþingis og ekkert bendir til að á því verði breyting á næstunni. Ekki verður með góðu móti spáð um það 1 - 2 áratugi fram í tímann hvað Alþingi kann að ákveða. Því síður hefur nokkur treyst sé til að spá í einstökum atriðum fyrir um áhuga samstarfsaðila á fjárfestingu í stóriðju hér á landi. Af þessum tvennum orsökum hefur Orkuspárnefnd takmarkað raforkuspár sínar við almenna rafmagnsnotkun og þá stóriðju sem fyrir var þegar spáin var gerð. Hún hefur ekki talið það þeglegt að spá um raforkuþörf til nýrrar stóriðju.

Þegar svona stendur á er gjarnan gripið til annarar tækni; svonefndra sviðsmyndakannana (scenario-studies). Með sviðsmyndakönnun er átt við að dregnar eru upp nokkrar mismunandi myndir af því, hvernig framtíðarsviðið gæti litið út. Fyrir hverja mynd um sig er síðan spurt : Hvaða ráðstafanir til undirbúnings þarf að gera ef framtíðin verður eins og hún sýnir ? Það er þessi aðferð sem beitt var í þeirri athugun fjórmenninganna sem ég gat um.

Gera verður skýran greinarmun á spám annarsvegar og sviðsmyndum hinsvegar. Sviðsmynd er ekki spá. Svo er einnig um þær sviðsmyndir sem ég mun gera grein fyrir hér á eftir um raforkuþörf til stóriðju á Íslandi í framtíðinni. *Þar er alls ekki um að ræða neinskonar raforkuspár.* En spár og sviðsmyndakannanir eru aðferðir sem styðja og fylla hvor aðra.

3.2 Hverjar eru sviðsmyndirnar ?

Ég mun nú gera í stuttu máli grein fyrir þeim sviðsmyndum af þróun raforkueftirspurnar á Íslandi fram til 2015 sem hópurinn tók til athugunar. Þær voru alls 5. 1. mynd sýnir hana. Á myndinni er einnig sýnd raforkuspá Orkuspárnefndar frá 1992. Á 1. mynd eru þær auðkenndar með tölunum 11 til 51.

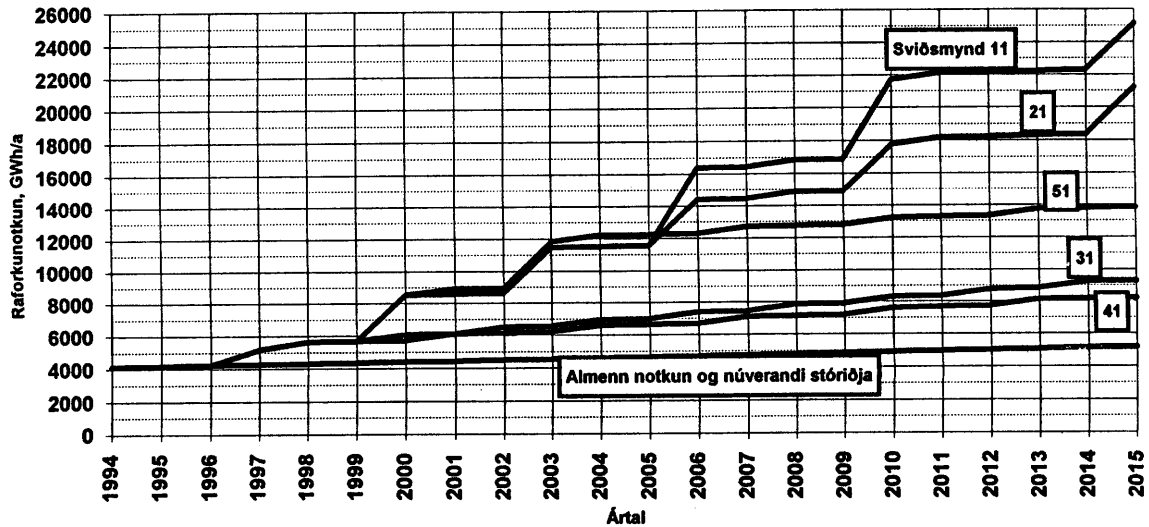
Sviðsmynd 11 gerir ráð fyrir mestri raforkuþörf af þeim öllum. Eftirspurn eftir raforku er þar talin munu vaxa úr 4,3 TWh/a nú í 25,1 TWh/a 2015. Þessi sviðsmynd gerir ráð fyrir að raforkufrekur iðnaður vaxi ört í landinu á fyrstu fimmtán árum næstu aldar jafnframt því að útflutningur á raforku hefjist í allstórum stíl á sama tímabili. Reiknað er með nýjum iðnaði sem að orkuþörf svarar til þriggja álvera af þeirri stærð sem ráðgert er að reisa á Keilisnesi, auk stækkunar álversins í Straumsvík; nokkrum minni iðnaði, og útflutningi á raforku um tvo sæstrengi.

Sviðsmynd 21 felur í sér að raforkunotkunin vex úr 4,3 TWh/a í 21,2 TWh/a 2015. Sá vöxtur er ígildi fimm álvera að orkuþörf, auk stækkunar álversins í Straumsvík. Hinsvegar er í þessari sviðsmynd ekki gert ráð fyrir útflutningi á raforku fyrir 2015.

Sviðsmynd 31 gerir ráð fyrir hægri, sígandi þróun orkufreks iðnaðar í smáum stigum allt til 2015, með engum meiriháttar notendum á borð við álver að frátalinni stækkun í Straumsvík, og án útflutnings á raforku. Heildarþörf 2015 9,3 TWh/a.

Sviðsmynd 41 er áþekkt 3a en með ennþá hægari vexti raforkufreks iðnaðar. Hieldarþörf 2015 8,3 TWh/a.

Sviðsmynd 51 gerir ráð fyrir stækkun í Straumsvík og tveimur stórum iðnaðaráföngum um og upp úr aldamótunum þar sem hvor um sig svarar til álvers eins og á Keilisnesi, en minni iðnfyrirtækjum eingöngu eftir það. Heildarþörf 2015 13,9 TWh/a.



1. mynd

Sviðsmyndir af raforkunotkun á Íslandi fram til 2015

Ástæða er til að minna enn og aftur á að hér er ekki um spár að ræða. Tilgangurinn er að gera sér grein fyrir hvaða virkjanir sé hagkvæmast að láta sjá fyrir raforkuþörfinni í hverri mynd um sig; hvenær þær virkjanir þurfi að komast í gagnið og út frá vitneskjunni um það hvenær Orkustofnun þurfi að hafa lokið sínum hluta undirbúningsins.

Hér verður ekki gert upp á milli þessara sviðsmynda eða látið í ljós neitt álit á því, hver þeirra sé "líklegust". Orkustofnun býr sig undir að mæta hverri þeirra sem er.

En samt verður að telja ólíklegt að raforkumarkaðurinn fram til 2015 muni liggja utan þess bils sem þessar fimm sviðsmyndir spanna.

4. Lágmarkskostnaður

Fyrir hverja um sig af ofangreindum sviðsmyndum er leitað að þeirri röð virkjana sem mætir raforkueftirspurninni með þeim hætti að núvirðið í árslok 1994 af þeim kostnaði við virkjanir í röðinni sem til fellur frá árslokum 1994 til og með árinu 2015 sé lægri en með nokkurri annari röð virkjana. Með kostnaði er hér bæði átt við fjármagnskostnað, þ.e. vexti og afskriftir, og rekstrar- og viðhaldskostnað virkjananna. Sú röð sem gefur lægst nógildi er hin hagkvæmasta. Aðrir munu hér á eftir gera nánari grein fyrir forsendum um þessa kostnaðarliði.

5. Meginniðurstöður um röð virkjana

Hér á eftir mér munu aðrir gera grein fyrir niðurstöðum af þessari sviðsmyndakönnun. Ég ætla því að sleppa því hér að fjalla um þær í einstökum atriðum.

Ég vil þó nefna að líta ber á þær sem einskonar frumniðurstöður því að ýmislegt er enn eftir að skoða betur. Þessu verki er ekki lokið. Ég á samt von á að þessar niðurstöður séu nálægt réttu lagi í öllum aðalatriðum og að þær geti nú þegar nýst Orkustofnun til leiðbeiningar við skipulaganingu á ransóknarstarfi stofnunarinnar á næstu árum

Bæði vatnsaflsvirkjanir og jarðgufuvirkjanir koma fyrir í ódýrustu virkjanaröðunum en í mismunandi mæli eftir sviðsmyndum. Í öllum tilvikum er hlutur vatnsorkunnar stærri; jafnvel yfirgnæfandi. Hann er stærstur í sviðsmynd 11 en minnstur í sviðsmyndum 31, 41 og 51, þar sem hlutur jarðhitans er einna stærstur enda þótt hann sé einnig þar minni en vatnsorkunnar. Athyglisvert er að í sviðsmyndum 31 og 51 má skipta á einni vatnsaflsstöð og fimm jarðgufustöðvum án þess að kostnaður breytist marktækt. Sé það gert þyrfti að reisa alls 11 jarðgufustöðvar á tímabilinu fram til 2015, 10 þeirra 20 MW og eina (Kröflu 2) 30 MW. Það er líklegur hámarksfjöldi slíkra stöðva sem reisa þarf á þessu tímabili hvernig sem markaðurinn þróast. Orkustofnun hefur lokið sínum hluta undirbúnings á flestum þeirra virkjunarstaða sem þar yrði um að ræða, að frátöldum söluverkum fyrir þann sem virkjar. Meirihluti þeirra rannsókna sem Orkustofnun þarf að inna af hendi til undirbúnings því að mæta raforkuþörf landsmanna fram til 2015 er því á vatnsorkusviðinu.

Eins og fram mun koma hér á eftir þar sem niðurstöðurnar verða raktar er virkjun Jökulsár á Fjöllum innifalin í ódýrustu röð fyrir sviðsmynd 11 en ekki í ódýrustu röðum annara sviðsmynda. Þetta kemur í sjálfu sér ekki á óvart. Virkjanirnar í Jökulsá á Fjöllum, Arnardalsvirkjun og Brúarvirkjun, eru stórar og það er illgerlegt að áfangaskipta þeim á hagkvæman hátt. Þær þarf því að framkvæma í einu lagi og þær þurfa að koma hvor á eftir annari. Til þess þarf mjög hraða aukningu í eftirspurn eftir raforku. Hún er hröðust í sviðsmynd 11. Sú sviðsmynd felur, eins og áður er sagt, í sér úrflutning á raforku um tvo sæstrengi á fyrsta áraug næstu aldar. Hvor um sig tekur 4765 GWh/a í orkuveri; 69 % meira en álver á Keilisnesi. Í sjálfu sér er útflutningur ekki endilega forsenda þessarar sviðsmynda; hún er hugsanleg með öðru móti. En þá þarf að koma til iðnaður sem leggur hald á jafnmikla orku og 3 til 4 álver á minna en 10 árum, sem væri mög hröð iðnaðaruppbygging. Líklegasta forsendan - en ekki hin eina hugsanlega - fyrir þessari sviðsmynd er því útflutningur á raforku.

Sem kunnugt er eru skiptari skoðanir á virkjun Jökulsár á Fjöllum en flestar aðrar. Vegna þess var einnig athuguð næst-besta röð fyrir sviðsmynd 11. Ef hún er valin yrðu hreinar tekjur af raforkusölu tæplega 230 milljónum króna lægri á ári að meðaltali yfir tímabilið 1995 - 2015, miðað við 4,5 % raunvexti, en ef besta röð er valin. Hér á eftir mun það koma fram í hverju þessi næst-besta röð er frábrugðin hinni bestu.

Það hefur margoft komið fram á ársfundum Orkustofnunar og víðar hverskonar upplýsingar það eru sem stofnunin aflar með undirbúningsrannsóknum sínum undir raforkuvirkjanir. Að því verður einnig vikið í erindum hér á eftir. Í stuttu máli sagt eru það grundvallarupplýsingar sem nauðsynlegar eru til þess að unnt sé að meta hagkvæmni virkjana innbyrðis og velja úr til nánari skoðunar þær sem vænlegastar sýnast; svo og nauðsynlegar upplýsingar til að geta

lagt sámilegt mat á væntanlegan virkjunarkostnað og orkugetu. En Orkustofun safnar einnig og jafnframt vitneskju um umhverfisáhrif virkjana, bæði vatnsafls- og jarðhitavirkjana. Þær eru m.a. nauðsynlegar fyrir Alþingi, sem þarf að taka afstöðu til hvort virkjun skuli heimiluð eða ekki.

Að lokum vil ég vekja athygli á því að enda þótt fundin sé röð virkjana sem mætir tilteknum raforkumarkaði með minnstum tilkostnaði er ekki þar með *sjálfgefið* að hún verði valin í einu og öllu. Fjöldmargt annað kemur til skoðunar þegar virkjanir eru ákveðnar, svo sem æskileg dreifing fjárfestingar yfir tímabil; dreifing mannaflaparfar við framkvæmdir, dreifing virkjana eftir landshlutum og umhverfissjónarmið. Ef röð virkjana samkvæmt slíkum sjónarmiðum verður önnur en sú sem gefur lægastan kostnað verður að koma til mat, sem mjög oft er póliískt, á því, hvort það sem sóst er eftir með því að víkja frá ódýrustu röð sé umframkostnaðarins virði. Þessvegna þarf vitneskja um slíkan umframkostnað að liggja fyrir samtímis upplýsingum um önnur atriði svo sem umhverfisáhrif, byggðapólitísk áhrif o.s.frv. Það er forsenda þess að stjórnámálamenn geta tekið traustar og yfirvegaðar ákvarðanir um virkjanir.

Svo dæmi sé tekið geta stjórnámálamenn þurft að meta hvort það, að sleppa við að virkja Jökulsá á Fjöllum fyrir 2015, ef raforkumarkaðurinn þróast eins og sviðsmynd 11 gerir ráð fyrir, sé virði 230 milljóna króna á ári á tímanum fram til 2015.

Ég þakka áheyrnina !

**ÞRÓUN RAFORKUMARKAÐAR OG
NAUÐSYNLEGAR ORKURANNSÓKNIR**

Forsendur og aðferðafræði

ÞRÓUN RAFORKUMARKAÐAR OG NAUÐSYNLEGAR ORKURANNSÓKNIR

Forsendur og aðferðafræði

Einar Tjörvi Elfasson, Halldór Pétursson, Hákon Aðalsteinsson og Valgarður Stefánsson

1. Inngangur

Verkefni það sem hér er til umfjöllunar felst í að draga upp svokallaðar sviðsmyndir. Þessar sviðsmyndir gefa til kynna mögulega þróun raforkumarkaðarins á Íslandi næstu tvo áratugina. Inn í hverja sviðsmynd er síðan ráðað vænlegum virkjunarkostum á grundvelli lægsta kostnaðar á orkueiningu. Sökum óvissu um þróun markaðarins hafa fimm mismunandi sviðsmyndir verið dregnar upp. Við ákvörðun orkukostnaðar er tekið tillit til orkukerfisins í heild, að vísu í nokkuð einfaldaðri mynd.

Til að vinna að þessum sviðsmyndareikningum skipaði orkumálastjóri starfshóp í lok ágúst 1994. Í hópnum eru Einar Tjörvi Elfasson, Halldór Pétursson, Hákon Aðalsteinsson og Valgarður Stefánsson. Hópurinn hefur unnið að þessu verkefni síðan. Í þessu erindi eru kynntar fyrstu niðurstöður, en vinnunni er ekki lokið.

Í þessu erindi verður farið yfir þær forsendur sem Orkustofnun hefur notað í þessum reikningum svo og aðferðafræðina við reikningana sjálfa.

2. Markmið

Tilgangurinn með sviðsmyndareikningunum er að leita að þeirri röð virkjana sem annar með lágmarkskostnaði orkuþörf innan hvernar sviðsmyndar á því 20 ára tímabili sem til athugunar er, þ.e.a.s. tímabilið 1995-2015. Þennan lágmarkskostnað er ýmist hægt að tilgreina beint í milljónum króna á núvirði í byrjun tímabilsins eða sem meðalkostnað á hverja klóvattstund þeirrar orku sem þörf er á á tímabilinu umfram orkuþörfina í byrjun þess.

Ástæða þess að Orkustofnun hefur lagt út í þessa athugun er að sú að með henni skapast forsendur fyrir langtíma áætlanagerð í virkjunarrannsóknnum. Þannig verður unnt að ákvarða nauðsynlega tímasetningu, tegund, árlegt umfang og forgangsröðun rannsókna til undirbúnings virkjana. Jafnframt að tryggja að til séu nægir kostir forathugaðir frá hendi Orkustofnunar svo unnt sé að mæta hvaða líklegum markaði sem er. Tímasetning og árlegt umfang slíkra undirbúningsrannsókna er ákvarðandi fyrir virkjunarhraða í byrjun næstu aldar.

3. Forsendur

Niðurstaða sviðsmyndareikninga er háð þeim forsendum sem gefnar eru. Því er mikilvægt að þær séu staðlaðar fyrir alla virkjunarkosti þannig að allar virkjunarhugmyndir sem teknar eru inn í reikningana séu metnar á sama hátt. Þessari vinnu er enn ekki að fullu lokið á Orkustofnun. Sérstaklega ber að geta þess að kostnaðar- og orkugetumat jarhitavirkjana og vatnsaflsvirkjana hefur ekki verið samræmt að fullu en unnið er að því á stofnuninni. Einnig ber að geta þess að kostnaður við raflínur er ekki tekin með í þessum reikningum, en ætla má að raflínur séu um 20% af kostnaði raforkukerfisins. Getu því niðurstöður þær sem kynntar verða hér á eftir breyst eitthvað þó að í aðalatriðum liggi þær fyrir, a.m.k. fyrir þær sviðsmyndir sem innifela mikla aukningu orkunotkunar.

Taka verður skýrt fram að þótt fundinn sé sú röð virkjana sem gefur slíkan lágmarkskostnað er ekki þar með sjálfgefið að hún verði endanlega fyrir valinu. Í erindi Jakobs Björnssonar orkumálastjóra eru rakin ýmis atriði sem geta leitt til annarrar niðurstöðu. Þar er um pólitísk sjónarmið að ræða, og í þessari athugun er ekki tekið tillit til þeirra, enda getur það ekki talist á verksviði Orkustofnunnar.

Helstu forsendur sem ganga inn í sviðsmyndareikninga eru eftirfarandi:

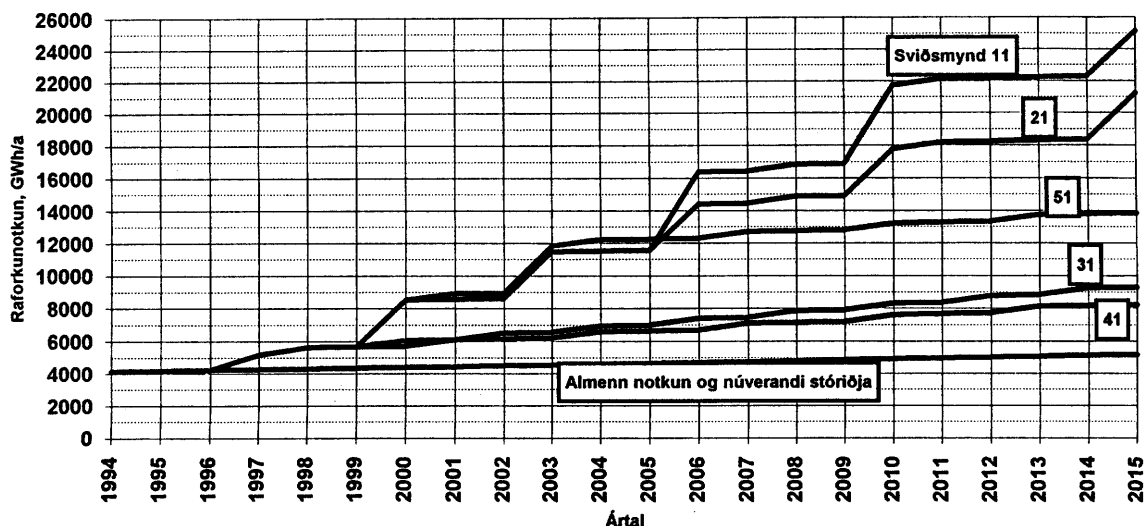
- Orkunotkun framtíðar
- Hvaða virkjanakostir standa til boða
- Orkugeta
- Stofnkostnaður og dreifing hans á byggingartíma
- Rekstrarkostnaður og afskriftatími
- Reiknivextir
- Leyfileg frávik í orkujöfnuði

Verður nú farið yfir hvert þessara atriða.

3.1 Orkunotkun

Svo sem fram kemur á myndinni efst á næstu síðu, sem fengin er úr erindi orkumálastjóra, er í sumum sviðsmyndum gert ráð fyrir jafnri markaðsaukningu, a.m.k. eftir að eitt stórt skref hefur verið stigið. Sviðsmyndirnar fimm eru einkum ætlaðar til þess að draga fram mismunandi einkenni á mögulegri markaðspróun og eru fyrst og fremst notaðar við athugun á rannsóknþörf fyrir mismunandi þróun raforkumarkaðarins. Slíkar sviðsmyndir geta breyst hratt ef nýir kaupendur orku koma fram og því þarf að vera unnt að endurskoða sviðsmyndir ef tilefni gefst, og þá jafnframt þær ályktanir sem af þeim eru dregnar um rannsóknþörf. Sviðsmyndirnar eru settar fram sem forgangsortkunotkun á ári yfir athugunartímabilið.

Sviðsmyndir af raforkunotkun á Íslandi fram til 2015



Mynd 1

3.2 Framboð virkjanakosta

Einungis er hægt að gera kostnaðarsamanburð á virkjunum, þar sem stofnkostnaður og orkugeta eru sæmilega þekkt. Af þessari ástæðu eru almennt ekki teknir með virkjanakostir þar sem aðeins hefur verið gerð mjög lausleg forathugun, jafnvel þó að þeir geti hentað vel inn í einhverja sviðsmynd.

Þegar kostnaður við virkjunarráðir er síðan notaður við forgangsröðun rannsókna getur það leitt til þess að rannsóknir á lítt þekktum virkjunarstöðum eru látnar sitja á hakanum. Rannsóknir á jarðhitavirkjunum hafa um langt skeið liðið fyrir þetta. Í tengslum við þessa vinnu var því gert sérstakt átak í því til að meta kostnað við allmargar jarðhitavirkjanir til að hafa það mat til samanburðar við vatnsaflsvirkjanir. Jarðhitavirkjanir yrðu byggðar í 20 MW einingum í samræmi við aðferðafræði sem Valgarður Stefánsson (1992) hefur lýst. Rannsóknir á smáum vatnsaflsvirkjunum hafa af sömu sökum setið á hakanum. Ástæðan er fyrst og fremst sú að Orkustofnun hefur að mestu einbeitt sér að virkjunarmöguleikum fyrir stóriðju hin síðari ár. Þetta er bagalegt fyrir þær sviðsmyndir sem hafa litla orkuaukningu, og líklega eru til betri kostir til að uppfylla þær raðir.

Staða Orkustofnunar hefur verið nokkuð þröng hvað þetta varðar. Stefna stjórnvalda í uppbyggingu orkufrekrar starfsemi hefur eindregið beint takmörkuðum fjármunum að stærri virkjunarkostum. Einnig má benda á að í raforkukerfinu eru margir kostir til að fullnægja hægum vexti raforkumarkaðarins á næstunni.

3.3 Orkugeta

Þetta er sú stærð sem er hvað vandmeðförnust af þeim forsendum sem ganga inn í sviðsmynda-reikningana. Hið hefðbundna orkugetuhugtak byggir ekki á því hversu mikið virkjunin framleiðir, heldur hve mikilli forgangorku hún bætir við raforkukerfið í því sem næst versta vatnsári. Því skiptir máli hvaða markaðssamsetningu er verið að skoða og hvar í virkjunarröðinni virkjunin er. Einungis tilflutningur virkjunar í virkjunarröðinni breytir orkugetu hennar. Af þessum ástæðum má segja að rétt aðferð til að meta orkugetu virkjana í einhverri ákveðinni sviðsmynd sé að gera rekstrareftirlíkingu fyrir þá virkjunarröð og markaðssamsetningu sem kemur fram í sviðsmyndinni. Þetta er býsna umfangsmikil athugun og hefur því sú leið verið farin hér að meta orkugetu virkjana út frá öðrum einfaldari aðferðum. Rekstrareftirlíkingar geta svo komið í framhaldi af þessari leið. Til að einfalda matið var ákveðið að taka eins lítið tillit til samkeyrsluáhrifa og unnt væri því annars væri orkugeta virkjunar breytileg stærð. Í þessum reikningum var ákveðið að miða orkugetuna við eina fasta tölu. Því er hver virkjun metin sem sjálfstæð eining án tillits til samkeyrsluáhrifa. Einnig var ákveðið að miða við markaðssamsetningu raforku með 70% stóriðju og 30% almennum markaði, en það gefur nýtingartíma uppsetts afls í kerfinu um 6100 klst/ári, en þá hefur verið tekið tillit til reiðuafisþarfar, þ.e. þarfar fyrir varaafli á tímum mesta álags, sem metin er 15% af mesta álagi. Þetta er að sjálfsögðu einföldun þar sem markaðssamsetningin er breytileg, en án hennar er ógerningur að áætla eina orkugetutölu fyrir hverja virkjun. Dæmi um breytileika markaðarins sést í eftirfarandi töflu fyrir sviðsmynd 1. Nýtingartíminn í töflunni er nýtingartími mesta álags. Nýtingartími uppsetts afls er sð-an fengin með því að meta mesta klukkustundarálag kerfisins til að finna aflþörfina og bæta við það 15% varaaffi.

Tafla 1: Nýtingartími markaðarins og stóriðjuhlutfall.

Ár	Alm mark	St sal	Zink- verksm	Álv 1	Álv 2	Str 1	Þn 1	Str 2	Þn 2	Álv 3	Samtals	Nýt. tími	Stóriðju hlutf
1994	4136										4136	6462	43
1995	4177										4177	6452	42
1996	4223										4223	6441	42
1997	4268	900									5168	6730	52
1998	4311	900	410								5621	6823	55
1999	4357	900	410								5667	6812	54
2000	4398	900	410	2805							8513	7246	69
2001	4446	900	410	2805							8561	7236	69
2002	4494	900	410	2805							8609	7226	68
2003	4542	900	410	2805	2805						11462	7445	76
2004	4590	900	410	2805	2805						11510	7436	75
2005	4638	900	410	2805	2805						11558	7428	75
2006	4691	900	410	2805	2805	4765					16376	7632	82
2007	4744	900	410	2805	2805	4765					16429	7625	82
2008	4796	900	410	2805	2805	4765	350				16831	7629	82
2009	4849	900	410	2805	2805	4765	350				16884	7622	82
2010	4902	900	410	2805	2805	4765	350	4765			21702	7733	86
2011	4960	900	410	2805	2805	4765	350	4765	350		22110	7733	86
2012	5018	900	410	2805	2805	4765	350	4765	350		22168	7727	85
2013	5076	900	410	2805	2805	4765	350	4765	350		22226	7721	85
2014	5134	900	410	2805	2805	4765	350	4765	350		22284	7715	85
2015	5192	900	410	2805	2805	4765	350	4765	350	2805	25147	7759	86
2016	5250	900	410	2805	2805	4765	350	4765	350	2805	25205	7753	86

Eftirfarandi aðferðir voru notaðar til að meta orkugetu:

- Í þeim tilvikum þar sem virkjun hefur verið reiknuð í rekstrareftirlíkingum, eins og t.d. virkjanir á Þjórsársvæði, var meðaltal orkugetu virkjunarinnar notað sem orkugeta. Þarna eru því tekin með einhver samkeyrsluáhrif á milli virkjana, en ógerningur er að finna hver þau eru nákvæmlega.
- Þegar engar rekstrareftirlíkingar eru til með virkjuninni, en rennslisráðir sæmilega þekktar, hefur verið búið til einfalt rekstrarlíkan fyrir virkjunina og það látið meta orkugetu. Með þessu er ekki tekið tillit til samkeyrsluáhrifa við aðrar virkjanir í kerfinu.
- Ef engar rennslisráðir eru til eða illa þekktar er miðað við nálgunarlíkingu ættaða frá Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen (1993), sem gefur gróft mat á orkugetu.

Sérstaklega var hugað að jarðhitavirkjunum í þessu sambandi þar sem í fyrsta sinn var verið að stilla jarðhitavirkjunum og vatnaflsvirkjunum upp í sömu virkjunarröðina.

Sá grundvallarmunur er á vatnsaflsstöð og jarðgufustöð í þessu samhengi að orkugeta vatnsaflsstöðvar ræðst að framboði náttúrunnar á "eldsneyti" slíkrar stöðvar, vatni, og því hve mikið af því er unnt að nýta, þ.e. tiltæku miðlunarrými í samanburði við miðlunarþörf. Engin samsvarandi takmörkun er á framboði á "eldsneyti" til jarðgufustöðvar svo fremi að jarðhitasvæðið sé ekki ofnýtt, og slík stöð er því eins sett og venjuleg eldsneytisstöð í þessu tilliti. Orkugeta jarðgufustöðvar ræðst sem sé af uppsettu afli hennar og því hve lengi markaðurinn tekur við orku frá henni án þess að það leiði af sér að vatn, sem annars mætti nýta, fari að renna framhjá vatnsaflsstöðvunum. Þetta má orða svo að vatnsaflsstöð sé orkuhönnuð; orkan er þar frumstærð en uppsett afl afleidd stærð. Jarðgufustöð er aftur á móti afhönnuð; aflið er frumstærð en orkan afleidd stærð.

Hér kemur það líka til að reikna þarf með því að taka þurfi jarðgufustöð úr rekstri til viðhalds og eftirlits í um 3 vikur á ári til jafnaðar, eða 500 stundir. Mesti meðalnýtingartími uppsetts afls í slíkri stöð er því 8260 stundir. Samsvarandi meðaltalstími úr rekstri fyrir vatnsaflsstöð er miklu styttri; svo stuttur að í reynd er afl slíkrar stöðvar aldrei haft svo lítið að nýtingartíminn takmarkist af honum.

Að teknu tilliti til þessa ræðst orkugeta jarðgufustöðvar af rekstrareftirlíkingum á svipaðan hátt og hjá vatnsaflsstöðvum. Þær rekstrareftirlíkingar sem til voru með jarðhitavirkjunum voru allar því marki brenndar að þegar virkjunin kom inn í kerfið var umframafli verulegt í og því var unnt að láta virkjunina keyra á fullu afli allt árið án þess að taka tillit til álagssveiflna markaðarins. Þetta er ekki edlilegt í áætlanagerð þar sem ekki er vitað fyrirfram hvaða aðstæður í afli verða ríkjandi. Því var valin sú leið að áætla hve mikið orkugeta jarðhitavirkjunar skerðist við að taka að fullu þátt í ársálagssveiflum markaðarins og var þar stuðst við áætlanir frá Verkfræðistofunni Streng (1993). Samkvæmt því ber að miða orkugetu jarðgufuvirkjunar við 6850 klst nýtingartíma á ári. Þessi tala er notuð fyrir allar 20 MW jarðgufustöðvar óháð því hvenær virkjunin kemur í gagn. Þetta er einföldun því eftir því sem hlutdeild stóriðju eykst í markaðinum, eykst orkugeta jarðgufuvirkjana og þar með hagkvæmni þeirra. Við nákvæmari sviðsmynda-reikninga er rétt að taka þetta til endurskoðunar þar sem jarðgufuvirkjanir henta vel sem grunnafli. Athuga þarf hvernig ódýrast er að sjá fyrir nægu afli til að mæta álagssveiflum og þörfinni fyrir reiðuafli, þ.e. afli í vélum í gangi umfram mesta álag til að mæta skyndibreytingum eins og brottfalli vélar úr rekstri, aftengingu línu o.s.frv. Hvort þetta afl er ódýrast í einhverjum vatnsaflsstöðvum, og þá hverjum eða jarðgufustöðvum. Þetta verður gert um leið og orku-

getuviðmiðanir verða endurskoðaðar, en það er á dagskrá fljótlega.

Aðrar sérstakar forsendur um orkugetu sem vert er að taka fram eru eftirfarandi:

- Við virkjun Jökulsár á Fjöllum er gert ráð fyrir um 700 GJ framhjárennsli á Dettifoss á ári. Þetta skerðir orkugetu Arnardals- og Brúarvirkjana um 600 GWh/ári.
- Orkugeta virkjana á Þjórsársvæði fer eftir því hvernig Efri-Þjórsá er virkjuð og í hvaða röð þær eru byggðar. Í þessum áætlunum er gert ráð fyrir að Efri-Þjórsá verði virkjuð með því að veita henni til Þórisvatns, og í þeim tilfellum þar sem þörf er stórra virkjunaráfanga verði byrjað á henni.

3.4 Stofnkostnaður og dreifing hans á byggingartíma

Til eru nokkuð staðlaðar aðferðir við að meta stofnkostnað vatnsaflsvirkjana og notar Orkustofnun kostnaðarlíkan frá Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen (1993) til þess. Þetta líkan gefur svipaðar niðurstöður og líkan Landsvirkjunar, enda frá sama aðila. Inn í þetta líkan eru byggðar ákveðnar forsendur varðandi mat á óvissum kostnaði, öflun vatnsréttinda o.fl. Samsvarandi líkan er ekki til fyrir jarðhitavirkjanir, heldur hefur verið stuðst við kostnaðartölur varðandi verkhönnun Bjarnarflagsvirkjunar (Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns 1994). Unnið er að því á Orkustofnun að yfirfæra þessar tölur í almennt kostnaðarlíkan sem hægt er að nota á forathugunarstigi þannig að unnt sé að meta á sambærilegan hátt jarðgufuvirkjanir og vatnsaflsvirkjanir.

Allar áætlanir um stofnkostnað byggja á ákveðinni áætlun um aflþörf og þar með stærð vatnsvega og véla. Hér er miðað við fyrir allar virkjanir að aflþörfin sé samkvæmt markaðssamsetningunni 30% almennur markaður og 70% stóriðja. Þetta er nálgun því að aflþörfin er beint háð nýtingartíma markaðarins og ætti því að vera breytileg.

Vert er einnig að benda á hvernig jarðhitasvæði er virkjað. Fyrst er ein 20 MW eining byggð og fellur þá til megnið af kostnaði vegna vegagerðar, öflunar virkjunarréttinda og aðstöðusköpunar fyrir starfsmenn. Með nokkura ára millibili koma síðan fleiri einingar. Því er fyrsta virkjunar-eining dýrari heldur en þær sem á eftir kunna að koma á svæðinu.

Venjan er sú að vera fhalðssamur varðandi kostnaðaráætlanir á forathugunarstigi ef litlar upplýsingar eru til um aðstæður á virkjunarstað. Því eru t.d. illa þekktir kostir á sviði vatnsorku og jarðgufu metnir heldur dýrari en betur þekktir kostir. Dæmi um þetta er t.d. Hverfisfljót. Þegar þekking eykst um kostina lækkar því kostnaðarmatið iðulega.

Í kostnaðartölunum sem notaðar eru, er ekki gert ráð fyrir vöxtum á byggingartíma. Ástæða þess er sú að byggingarkostnaði er dreift á nokkur ár samkvæmt upplýsingum frá Landsvirkjun og koma því vextir á byggingartíma sjálfkrafa með í reikningana.

Eftirfarandi dreifistudlar á stofnkostnað hafa verið notaðir (tölur eru í prósentum, og virkjun kemur í gagnið ár 0):

Tafla 2: Dreifing stofnkostnaðar.

Virkjunarstig	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1
Vatnsaflsvirkjun:								
Forathugunarstig		6	8	12	20	26	23	5
Forhönnunarstig	0.4	0.8	4.4	17.2	26.1	30.3	17.2	3.6
Jarðgufuvirkjun:			4.5	7	21.2	49.3	18	

Frá þessu eru nokkur frávik. Fyrir kosti sem komnir eru á byggingarstig og eru viðbætur við núverandi fjárfestingar hafa þeir dreifistuðlar sem eru í áætlun um kostina verið notaðir. Þetta gildir um t.d. Nesjavallavirkjun, stækkun Búrfells og fleiri kosti.

Kostnaður í áætlunum er miðaður við verðlag í desember 1993. Þar sem áætlanir eru á öðru verðlagi hefur kostnaður verið reiknaður upp með virkjunarvísitölu.

3.5 Rekstrarkostnaður og afskriftartími

Töluverð umræða hefur farið fram innan Orkustofnunar um það hvaða tölur eigi að miða við í þessu sambandi. Í samráði við Landsvirkjun og í samræmi við alþjóðlegar venjur, hefur verið ákveðið að miða við eftirfarandi:

Tafla 3: Afskriftir og rekstrarkostnaður.

Gerð	Afskriftartími	Rekstrarkostnaður
Vatnsaflsvirkjun	40 ár	0.7%
Jarðhitavirkjun	30 ár	2%

Með afskriftatíma er ekki átt við endingartíma mannvirkjanna heldur þann tíma sem venja er að miða við til að ná fjárfestingarkostnaði til baka. Endingartími mannvirkjanna er mun lengri í flestum tilfellum en það er þó mismunandi fyrir hina ýmsu hluta virkjananna. Afskriftartími rafstöðva eins og reyndar mannvirkja almennt er málamiðlun milli tveggja sjónarmiða: Annarsvegar endingartíma stöðvanna, þ.e. þess tíma sem unnt er að halda þeim í rekstri án þess að rekstrar- og viðhaldskostnaður hækki úr hófi fram, og hinsvegar ósk fjárfestis um að endurheimta stofnféð sem fyrst. Þar sem samkeppni er virk er það hún sem ræður þessari málamiðlun. Annars staðar eins og í rafveiturekstri víðast hvar þar sem hennar gætir ekki mikið, eru það yfirvöld sem hafa síðasta orðið. Þriðja sjónarmiðið, tæknileg úrelding, kemur líka stundum við sögu, einkum við afskriftir á hátækniúnaði í örrí þróun eins og t.d. tölvubúnaði, þar sem það er næstum ráðandi. Þess gætir hinsvegar lítt eða ekki á því sviði sem hér um ræðir.

3.6 Reiknivextir

Í reikningunum hér eru 5.5 % vextir notaðir. Þetta er fhalddssamt mat á því hver efri mörk langtímaavaxta eru. Í raun er erfitt að meta þetta en Landsvirkjun hefur t.d. í nýjustu áætlunum sínum notað þessa vexti. Í reikningunum eru vextir settir þannig upp að hægt er að breyta þeim með því að breyta einni tölu í reikningunum.

3.7 Leyfileg frávik í orkujöfnuði

Þegar virkjunum er ráðað inn í virkjanaröð til að mæta ákveðnum markaði verða alltaf einhver frávik í orkujöfnuði. Í þessum reikningum er miðað við að frávikin verði ekki stærri en 1% af orkunotkuninni. Þetta var talið ásættanlegt þar sem orkugetan er miðuð við versta vatnsár, en það kemur með áratuga millibili, og orkugeta jarðgufustöðva er líklega metin varlega. Þó geta stærri jákvæðar tölur verið ásættanlegar, sérstaklega ef tekið er tillit til þess að aukning hins almenna markaðar er að jafnaði um 50-60 GWh/ári, og að almennt koma stórar virkjanir inn á 1-2 árum.

Í þessum reikningum er virkjunum ekki áfangaskipt þó að í mörgum tilfellum sé það unnt. Þetta er gert til einföldunar. Ef virkjunum væri áfangaskipt er auðveldara að dreifa orkuaukningu og fylgja betur eftir markaðinum. Þessu var mætt með því að leyfa stærri jákvæð frávik í orkujöfnuði.

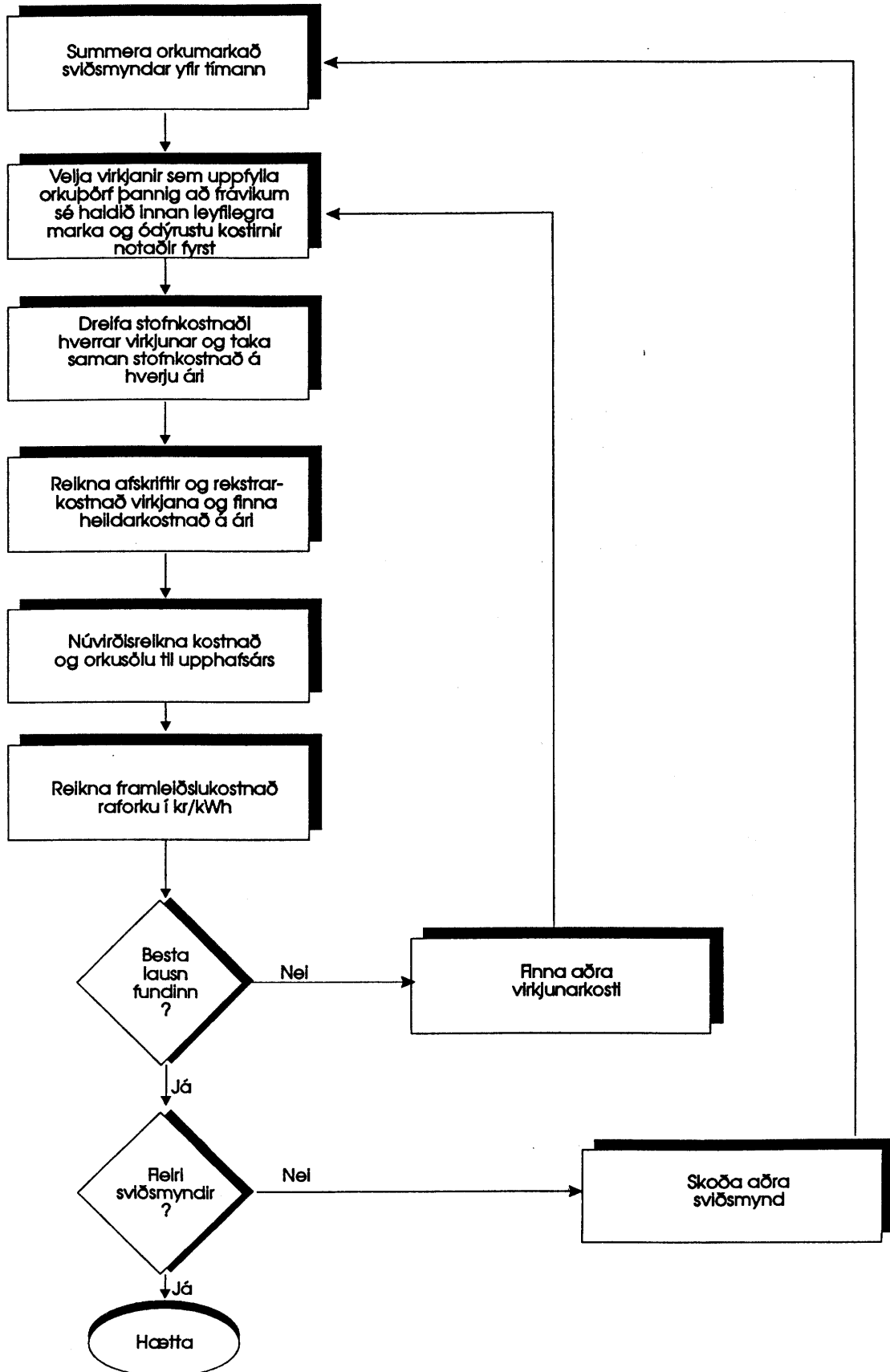
4. Aðferðafræði

Aðferðin sem notuð er við sviðsmyndareikningana sést á mynd 2. Fyrsta skrefið í sviðsmynda-reikningunum er að reikna þá orkunotkun sem í sviðsmyndinni felst en orkunotkun er bein afleiðing af þeirri sviðsmynd sem valin er, því í henni er búið að velja hvenær orkufrekur iðnaður kemur inn á kerfið og hver orkunotkun hans er. Taka verður fram að einungis er verið að skoða forgangsortku.

Næsta skrefið í reikningunum er að velja virkjanir sem uppfylla orkuþörfina og eru jafnframt ódýrustu kostirnir sem völ er á til þess. Mat á því hvaða kostir er ódýrastir er hins vegar ekki einhlítt. Sú venja hefur ríkt þegar vatnsaflsvirkjanir eru bornar saman að nægilegt sé að bera saman stofnkostnað á orkueiningu til að finna ódýrasta kostinn. Þegar bornar eru saman jarðgufuvirkjanir og vatnsaflsvirkjanir er þetta ekki unnt, því forsendur varðandi afskriftir og rekstrarkostnað eru ólíkar. Til þess að forgangsraða kostunum þarf því að reikna framleiðsluverð orku frá virkjunum og bera saman. Mat á framleiðslukostnaði er háð mati á orkugetu og stofnkostnaði og þar með háð nýtingartíma uppsetts afls. Eins og áður hefur komið fram hafa vissar einfaldanir verið gerðar varðandi þetta mat og endurspeglast það að sjálfsögðu í matinu á framleiðslukostnaði. Áætlað orkuverð virkjunarkostanna sést í töflu 4.

Þessi tafla er byggð á þeim forsendum að stofnkostnaði virkjunar sé dreift eins og sýnt er í töflu 2. Til þess þarf vatnsaflsstöð að koma inn í fyrsta lagi 2002. Fyrir vatnsaflskosti á forhönnunarstigi þýðir það að kostnaður byrjar að falla til árið 1996. Töflunni er einvörðungu ætlað að vera hjálpartæki til að flýta fyrir leitinni að hagkvæmustu virkjanaröð en ekki að sýna innbyrðis samanburð á orkukostnaði við fullnýtingu virkjunar strax. Til þess að slíkur samanburður sé fyllilega marktækur þarf nýtingartími uppsetts afls að vera hinn sami fyrir allar virkjanirnar sem hann er ekki í töflunni. Geta má þess til samanburðar að ef Bjarnarflag 1 fengi 160 GWh/ári í orkugetu, eins og fengist ef vatnsorkuver gætu tekið á sig alla umframafþörf markaðarins án þess að minnka sína eigin orkugetu, yrði orkuverð hennar 1.277 kr/kWh, eða um 17% lægra.

Sviðsmyndareikningar - flæðirit



Mynd 2

Tafla 4: Virkjunarkostir og orkuverð.

Virkjun	Stofnkostnaður Milljónir kr	Orkugeta GWh/ár	Orkuverð kr/kWh
Stækkun Blöndulóns	160	166	0.0676
Búrfell I endurnýjun	698	200	0.283
Nesjavellir	1749	240	0.74
Búrf II + Kv + Hág	4782	480	0.807
Krafla II	1622	206	0.817
Veita V-Jökulsár	810	80	0.836
Þjórsárveita	6932	666	0.867
Vatnsfell	7681	666	0.96
FDV + Hraun	37869	3170	0.974
Skaftárveita	7112	660	1.064
Arnard + Brúarv	62922	3960	1.092
Sultartangi	11940	860	1.124
Kárahnúkvirkjun	46612	3360	1.132
Merkigil	16814	1200	1.142
Þjórárv að v	2429	170	1.166
Villinganes	8966	600	1.217
Bjarnarflag II	1760	137	1.312
Búðarháls	11048	670	1.336
Urriðafoss	14669	870	1.366
N-Þjórsá	21887	1260	1.416
Hverfisfljót	20230	1160	1.421
Lagarfljót II	4708	270	1.421
Markarfljót	10464	600	1.421
Tungufljót 1	8197	470	1.421
Bjarnarflag 3-6	1912	137	1.442
Reykjanes 2	1912	137	1.442
Íshólsvatn	9398	620	1.473
Bjarnarflag I	1978	137	1.492
Trölladyngja 2	1989	137	1.6
Reykjanes 1	2373	137	1.789
Trölladyngja 1	2666	137	2.003

Næsta skref er dreifa stofnkostnaði virkjana og taka saman stofnkostnað á hverju ári. Stofnkostnaði er dreift samkvæmt ofangreindum dreifistuðlum. Jarðhitavirkjanir og vatnsaflsvirkjanir eru teknar saman sitt í hvoru lagi þar sem afskriftir og rekstrarkostnaður er ólíkur.

Að þessu loknu er árlegur kostnaður virkjana reiknaður. Notaðar eru tvær líkingar, ein fyrir vatnsafl og ein fyrir jarðhita. Líkingin fyrir vatnsafl er:

$$ák_i = stofnk \cdot \left[\frac{i \cdot (1+i)^{40}}{(1+i)^{40} - 1} + 0.007 \right] + ák_{i-1}$$

Þar sem $ák_i$ er árlegur kostnaður árs i og $stofnk$ er stofnkostnaður vatnsaflsvirkjana sem fallið

hefur til á árinu. Fyrri liðurinn innan svigans er vegna vaxta og afskrifta en sá seinni vegna rekstrarkostnaðar.

Samsvarandi líking fyrir jarðgufuvirkjanir er:

$$ák_i = stofnk \cdot \left[\frac{i \cdot (1+i)^{30}}{(1+i)^{30} - 1} + 0.02 \right] + ák_{i-1}$$

Næsta skref er að núvirðisreikna kostnaðinn og orkusöluna. Þetta er gert samkvæmt líkingunni:

$$núvirði = \frac{\text{kostnaður}}{(1+i)^n}$$

Þar sem n er árafjöldi frá því ári sem reiknað er til. Reikningar enda árið 2015 og núvirðisreiknað er til ársins 1995.

Að þessu loknu er röðun virkjana breytt og athugað hvort núvirði kostnaðar verði hærra eða lægra og með ítrekun reynt að finna lægsta núvirðið. Ítrekunin er byggð á mati en ekki er kerfisbundið farið yfir allar hugsanlegar samsetningar virkjana, enda er fjöldi hugsanlegra möguleika mikill.

Meðalvinnslukostnaður orku umfram orkuþörfina 1995 fyrir tiltekna sviðsmynd og virkjanaröð er loks fundinn með því að deilda upp í ofangreint núvirði kostnaðar af virkjanaröð með núvirði þessarar viðbótarorku samkvæmt þeirri sviðsmynd sem verið er að skoða. Þetta orkunúvirði er aðeins háð sviðsmyndinni en er hið sama á öllum virkjanaröðum sem ætlað er að mæta henni.

5. Endurbætur - framhald athugana

Vinnu við þessar sviðsmyndir er ekki lokið. Í raun má segja að Orkustofnun þurfi stöðugt að endurskoða þetta verk eftir því sem nýjar upplýsingar bætast við, og þar með nýjar forsendur. Niðurstöður athugunarinnar eru þó marktækar að því leyti að fyrir fyrstu álver og sæstrengi koma ekki aðrar virkjanir til greina en þær sem notaðar hafa verið í sviðsmyndunum. Raðir einkennast einnig af því að fyrstu árin er verið að nýta betur þá fjárfestingu sem þegar er kominn í virkjunarkerfið.

Hér á eftir verður farið yfir þá þætti sem endurbæta má við þessa reikninga.

Fyrsta atriðið, og kannski það mikilvægasta, er meðhöndlun orkugetu í þessum reikningum, og hversu hún er illa þekkt fyrir marga kosti. Bent hefur verið á hvaða áhrif markaðssamsetning hefur á nýtingartíma virkjana. Breyttur og hærri nýtingartími hefur síðan áhrif á stofnkostnað virkjana þar sem umframafþörf virkjana minnkar. Einnig hefur verið bent á hér að framan að röðun virkjana í virkjunarröð hefur áhrif á orkugetu hennar. Við þetta má bæta að tenging raforkuferfisins við Evrópu hefu mikil áhrif á mat okkar á orkugetu. Íslenski raforkumarkaðinn er þá ekki lengur einangrað fyrirbæri, heldur verður að skoða hvernig hann spilar saman við raforkuferfi Evrópu. Gera má ráð fyrir að unnt sé að breyta töluverðri afgangorku í forgangorku við þessa tengingu. Þetta gerir þær kröfur til sviðsmyndaathugana að ekki verði eingöngu litið á forgangorku, heldur alla orku sem virkjanir geta framleitt. Þetta gerir einnig þá kröfu til Orkustofnunnar að hún verði sér úti um líkan til rekstrareftirlíkinga til að betur sé unnt að meta orkugetu hversrar virkjunar og hvernig orkuframleiðslan skiptist í forgangs- og afgangorku. Í þessu sambandi má einnig geta þess að í dag er afgangorka 15-20% af raforkumarkaðinum, og

vissir virkjunarkostir, svo sem stækkun Blöndulóns, gera í raun ekki annað en að breyta afgangssorku í forgangssorku. Ef of mikilli afgangssorku er breytt í forgangssorku með virkjunaraðgerðum gæti orðið skortur á afgangssorku á markaðinum.

Að því var vikið hér ofar að einungis er unnt að hafa þá virkjunarkosti, sem eru þekktir, með í sviðsmyndarreikningum. Af þessu leiðir að lágmarksþekking þarf að vera til staðar um alla virkjunarkosti landsins. Annars er hætt á að hagstæðir kostir, sem eru illa þekkir, séu ekki teknir með til skoðunar og hagstæðasta lausn finnist því ekki. Þetta gildir t.d. um litla vatnsaflskosti. Þeir hafa lítið verið skoðaðir vegna þess að á síðustu árum hefur stofnunin einbeitt sér að kostum til stóriðju. Ef aukning markaðarins verður hæg, koma jarðhitavirkjanir og litlir vatnsaflskostir mun frekar til greina. Því þarf Orkustofnun að fara að huga að minni virkjunarkostum.

Að því var einnig vikið hér að ofan að enn eigi eftir að samræma betur forsendur á milli jarðhitavirkjana og vatnsaflsvirkjana. Forathugun á jarðgufustöð hefur í raun ekki enn verið skilgreind á sambærilegan hátt og fyrir vatnsafl. Þetta gerir samanburð á milli vatnsafls- og jarðgufuvirkjana erfiðan og er nauðsynlegt að ljúka þessari samræmingu sem fyrst til að sviðsmyndirnar endurspegli sambærilegar tölur fyrir mismunandi virkjanir.

Nýlega hefur verið gerð tillaga að því hvernig samræma má aflþörf og orkugetu vatnsafls- og jarðhitavirkjana (Strengur hf. 1995).

Að lokum má geta þess að raflínur hafa ekki verið teknar með í þessa reikninga. Aðrar athuganir benda til að munað geti allt að 20% á stofnkostnaði virkjana ef raflínum er bætt við. Kostnaður vegna raflína leggst misþungt á virkjanir. Þetta er háð bæði staðsetningu þeirra og einnig staðsetningu þess markaðar sem þær eiga að þjóna. Sérstaklega vegur þetta þungt fyrir litlar virkjanir sem liggja afskekkt. Þetta atriði getur að sjálfsögðu haft áhrif á hvaða virkjanir eru hagstæðastar og ætti því að koma inn í seinni sviðsmyndarreikninga.

6. Virkjunarkostir og rannsóknþörf - niðurstöður

Í töflu 5 er listi yfir þá virkjunarkosti sem röðuðust inn í mismunandi sviðsmyndir og sýnt hvaða ár þeir þurfa að komast í gagnið. Í aftasta dálki er getið fyrsta ársins sem þeir koma fyrir. Það er ítrasta viðmiðun ef nota á niðurstöður til að stýra áherslum í virkjunarrannsóknum Orkustofnunar þannig að hún sé við öllu búin.

Allar virkjanir sem þurfa að koma inn fyrir árið 2003 eru nú þegar komnar á hönnunarstig eða eru meira eða minna tilbúna til byggingar, og eru allar á virkjunarsvæðum þar sem Landsvirkjun hefur nú þegar almennt virkjunarleyfi, nema Nesjavallavirkjun, þar sem Hitaveita Reykjavíkur hefur virkjunarleyfið. Sumar þeirra þurfa þó að fara í umhverfismat áður en framkvæmdaleyfi fæst.

Í þeirri niðurstöðu sem lýst er í töflu 5 skiptir verulegu máli hvort virkjað verður í Jökulsá á Fjöllum fyrir sviðsmynd 1.1, þar sem gert er ráð fyrir orkusölu til Evrópu um sæstreng. Verði virkjun Jökulsár á Fjöllum frestað fram yfir 2015 þarf að grípa til nokkurra kosta, sem annars er ekki þörf á og öðrum þarf að flýta. Viðbótarvirkjanir eru í Markarfljóti (600 GWh/a), Neðri Þjórsá (1260 GWh/a) og virkjun með veitu Skaftár til Tungufljóts, síðari áfangi (Tungufljót II; 380 GWh/a). Tveimur kostum að auki þarf að flýta, þ.e. virkjun í Skjálfandafljóti við Íshólsvatn og fyrri áfanga af virkjun með veitu Skaftár til Tungufljóts.

Tafla 5: Virkjunarkostir í mismunandi sviðsmyndum og árið sem þeir þurfa að taka til starfa samkvæmt þróun raforkumarkaðar. Þeir kostir sem merktir eru með x fremst í töflu eru að nokkru eða öllu leyti enn á sviði Orkustofnunar að þróa.

VIRKJUNARKOSTUR	SVIÐSMYNDIR						Fyrsta ár	
	1.1		2.1	3.1		4.1		5.1
	Með J. á Fj. (1)*	Án J. á Fj. (2)*		(a)**	(b)**			
<i>Vatnsaflsvirkjanir:</i>								
Stækkun Blöndulóns	1997	1997	1997	1997	1997	1997	1997	1997
Búrfell II + Kv.v. + Hág.	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998
Búrfellsv. endurn.	2000	2000	2000	2000	2000	2001	2000	2000
Þjórsárveita	2000	2000	2000	2006	2006	2007	2000	2000
Þjórsársv. að vestan	2000	2000	2008	2014	2012		2001	2000
Vatnsfellsvirkjun	2000	2003	2000				2000	2000
Sultartangavirkjun	2000	2000	2000				2000	2000
x Veita V-Jökulsár	2007	2003	2000	2002	2002	2014	2000	2000
Búðarhálsvirkjun	2006	2003	2006	2012			2010	2003
x Skaftárveita I	2006	2003	2006	2004	2004	2004	2007	2003
x Skaftárveita II	2015	2003	2006	2010	2010	2013	2013	2003
x FDV + Hraun	2003	2006	2003				2003	2003
x Urriðafossvirkjun	2015	2003	2006					2003
x Kárahnúkavirkjun	2006	2010	2010					2006
x Jökulsá á Fjöllum	2010							2010
Lagarfoss II ***	2011	2011						2011
x Brúará		2008		2008	2008			2008
x Merkgilsvirkjun	2010	2006	2015					2006
x Villinganesvirkjun	2015	2006	2015					2006
x Íshólsvatnsvirkjun		*2010	2015					2010
x Markarfljótsvirkjun*		2010						2010
x Hverfisfljótsv.	2015	2015						2015
x Neðri Þjórsá		2015						2015
x Tungufljót I		2010	2015					2010
x Tungufljót II		2015						2015
<i>Jarðgufuvirkjanir:</i>								
Nesjavellir 1	2000	2000	2000	2000	2000	2001	2000	2000
Krafla 2	2000	2000	2000	2002	2002	2002	2000	2000
Bjarnarflag 1	2008	2003	2001	2002	2002	2010	2001	2001
Bjarnarflag 2	2008	2005	2008	2008	2008	2011	2001	2001
Bjarnarflag 3	2013	2008	2008	2015	2012		2005	2005
x Reykjanes 1		2011	2013		2014			2011
Bjarnarflag 4		2012			2014			2012
x Reykjanes 2					2014			2014
Bjarnarflag 5					2015			2015

* (1): Besta röð; (2): Næst besta röð. Sýnt er með skáletri ártal þeirra virkjana sem ákvarðast af næst bestu leið í sviðsmynd 1.1. Þær virkjanir sem eingöngu þarf ef virkjun Jökulsár á Fjöllum er frestað fram yfir 2015 eru einnig skáletraðar.

** Í virkjunarröðum fyrir sviðsmynd 3 kom aðeins betur út að skipta Búðarhálsvirkjun (a) út á móti fjórum jarðgufuvirkjunaráföngum (b).

*** Viðbótarvirkjun við Lagarfoss er liður í því að stýra vatnsborði í Lagarfljóti eftir að Jökulsá á Fjöllum hefur verið virkjuð þannig að það breytist sem minnst frá núverandi stöðu. Því fylgir sú virkjun alltaf virkjun Jökulsár á Fjöllum þótt hennar sé ekki endilega þörf, eða önnur hagkvæmari gæti hentað betur.

Til undirbúnings virkjunar, með hönnunarrannsóknnum, hönnun, umhverfismati, útboðum og byggingu, þarf allmörg ár eftir að Orkustofnun hefur lokið sínum forathugunum. Landsvirkjun telur að til undirbúnings virkjunar Jökulsár á Brú og Jökulsár á Fjöllum þurfi að lágmarki 11 ár. Þær virkjanir og þau mál er þeim tengjast eru óvenju flókin miðað við það sem talið er gilda almennt um vatnsaflsvirkjanir, og því megi reikna með að almennt taki undirbúningur og bygging skemmri tíma. Í töflu 3 er lagt mat á nauðsynlegan tíma til þessara rannsókna og, í samræmi við það, hvenær Orkustofnun þarf að hafa lokið sínum þætti í rannsóknum þeirra virkjana, sem enn eru á forathugunarstigi (tafla 2). Þeir kostir sem eru minnst þekktir eru hér taldir taka 10 ár í hönnun og byggingu, en sá tími er vafalítið í mörgum tilvikum styttri og breytilegur. Þá er gert ráð fyrir að ekkert afgerandi svar fáiist við þeirri spurningu að sinni, hvort heimilt verði að virkja Jökulsá á Fjöllum fyrir 2015 eður ei (sbr. erindi orkumálastjóra).

Tafla 6: *Skrá yfir virkjanir sem koma fyrir í einhverri af sviðsmyndunum, en Orkustofnun hefur enn ekki lokið sínum rannsóknum á. Árið sem Orkustofnun þarf að hafa lokið sínum undirbúningi ræðst af því hvenær viðkomandi virkjun þarf að geta tekið til starfa og lágmarksundirbúningstíma fyrir hönnun og byggingu.*

Virkjun	Byggingu lokið (ártal)	Hönnun/ Bygging (ár)	Forath. lokið (ártal)
FDV + Hraun	2003	9	1994
Kárahúkav.	2006	11	1995
Skaftárveita I	2003	8	1995
Skaftárveita II	2003	8	1995
Urriðafossvirkjun	2003	8	1995
Veita V-Jökulsár	2000	5	1995
Merkigilsvirkjun	2006	9	1997
Villinganesvirkjun	2006	8	1998
Jökulsá á Fjöllum	2010	11	1999
Brúará	2008	8	2000
Íshólsvatnsvirkjun	2010	10	2000
Markarfljótsv.	2010	10	2000
Tungufljót I	2010	10	2000
Tungufljót II	2015	10	2005
Hverfisfljótsv.	2015	10	2005
Neðri Þjórsá	2015	10	2005
Reykjanes 1	2011	6	2005
Reykjanes 2	2014	6	2008

Af þeim virkjunarkostum sem þurfa að taka til starfa í fyrsta lagi 2003, og enn eru á borði Orkustofnunar, er það fyrst og fremst sameining Fljótsdalsvirkjunar og Hraunavirkjunar sem hætta er á að ekki verði tilbúinn í tæka tíð.

7. Vatnsorkurannsóknir

7.1 Rannsóknastig og rannsóknaraðferðir

Undirbúningsrannsóknir taka langan tíma, en kostnaður við þær eykst eftir því sem nær dregur framkvæmd. Við skipulagningu rannsókna er mikilvægt að reyna að tryggja að fjármunum sé á hverjum tíma varið til rannsókna á þeim virkjunum sem eru líklegastar til henta best fyrir sjáanlegum markaði. Skipting undirbúningsrannsókna í nokkur rannsóknarstig er liður í þeirri viðleitni. Byrjað er á yfirlitsathugunum og hringurinn síðan smám saman þrengdur um bestu kostina með stigvaxandi rannsóknum. Rannsóknarstigunum er nánar lýst hér á eftir:

- **Rennslisorkustig:** Þar eru virkjunarstaðir sem uppfylla ákveðin lágmarksskilyrði um rennslisorku. Þeir eru áætlaðir með almennum gögnum, svo sem tiltækum rennslismælingum og landakortum. Grunnkerfi í vatnamælingum er skipulagt þannig að fá megi grófa mynd af afrennsliseiginleikum á mismunandi landssvæðum, til að hægt sé að meta gróflega virkjanleika vatnsfalla í þessum hópi.
- **Fyrsta og önnur forathugun:** Á þessum rannsóknarstigum er fyrst og fremst stigsmunur. Rannsóknarferli eru í eðli sínu gagnvirk, þannig að niðurstöður hvers þáttar rannsókna hafa áhrif á aðra þætti. Þessi skipting er því til að leggja áherslu á nauðsyn þess að vega og meta árangur rannsókna með reglulegu millibili, annars vegar til að stýra áherslum í rannsóknum, og hins vegar til að ákveða hvort halda skuli áfram á næsta rannsóknarstig. Á þessu rannsóknarstigi er fljótlega skorið úr um hvort setja þurfi vatnshæðarmæli í viðkomandi vatnsfall, hafi hann ekki verið þar, og sama gildir um nákvæm landslagskort, að þau þarf að gera séu þau ekki til.
- **Samræmd forathugun:** Á þessu rannsóknarstigi er stefnt að því að hafa lokið öflun þeirra grunngagna sem þarf til að áætlanir verði; a) sambærilegar milli virkjunarstaða, þannig að hægt sé að segja að tiltekinn virkjunarstaður bjóði upp á betri kosti en annar, b) að niðurstöður áætlana séu innan ásættanlegra öryggismarka.
- **Frumhönnun:** Frumhönnun á að brúa bilið milli tiltölulega grófra forathugana og nákvæmrar verkhönnunar, og gegnir því hlutverki að velja úr leiðum til að virkja tiltekið fall, til þess að hin kostnaðarsama verkhönnun geti orðið hnitmiðuð. Ennfremur á hún að leiða í ljós hvort á virkjun séu einhverjir tæknilegir annmarkar, sem ekki er hægt að útkljá án ítarlegri rannsókna en þeirra sem gert er ráð fyrir að fylgi forathugunum. Lausa enda varðandi umhverfismál þarf að hnyta.
- **Verkhönnun:** Við verkhönnun er tilhögun virkjunar ákveðin, að undangengnum ítarlegum rannsóknum á þeim þáttum sem mestu ráða um kostnað við byggingu og til ákvörðunar á því hve mikilli orku virkjunin skilar inn á það raforkukerfi sem hún á að þjóna (orkugeta). Eðli máls samkvæmt þarf að endurskoða hið síðasttalda ef langur tími liður frá verkhönnun til útboðs og byggingar. Hið sama getur gilt um tilhögun virkjunar.

Fyrsttöldu þrjú rannsóknarstig eru auðkennd sem forathugun, og eru innan þess sem Orkustofnun telur í sínum verkahring, en hönnunarstig eru í verkahring virkjunarfyrirtækja.

Umhverfisrannsóknir koma lítið inn í þetta ferli fyrr en í fyrstu og einkum í annarri forathugun. Það á ekki að verja meiri tíma og fjármunum en brýna nauðsyn ber til í virkjunarkosti, sem hægt er að fresta frekari athugunum á vegna þess hve dýrir þeir eru.

Í fyrstu og annarri forathugun fer fram leit að heppilegum virkjunarleiðum, og þar er mikilvægt að hægt sé að velja þann kost sem hefur sem minnst áhrif á umhverfið. Ljúka þarf sem mestu af gagnaöflun um umhverfismál áður en gengið er frá samræmdri forathugun, og síðustu lausa enda þarf að hnýta samfara frumhönnun. Verkhönnun er hvort tveggja í senn of dýrt undirbúningsstig, og stendur of nærri framkvæmd í tíma til að búa við mikla óvissu varðandi t.d. umhverfismál.

Hér er oft og einatt talað um að ljúka forathugun einstakra kosta innan einhverra tímamarka. Oft á tíðum er það tíminn sem skammtar hvað hægt er að gera, en ef tími gefst til yrði vafalaust gengið lengra í gagnaöflun áður en virkjunaraðili fengi virkjunarhugmyndina til hönnunar. Þá verður að hafa í huga að ýmislegt óvænt getur komið fram við nánari rannsóknir sem þarf að kanna nánar. Ennfremur sýnir reynslan að betri gögn, ný tækni og ferskar hugmyndir gefa til efni til sffelldrar endurskoðunar þess sem í eina tíð þótti gott og gilt. Því má segja að í raun lýkur forathugun ekki fyrr en virkjun er tekin til hönnunar.

7.2 Fljótsdals- og Hraunavirkjun

Fljótsdalsvirkjun er tilbúin til útboðs, hvenær sem markaðurinn þarfnast hennar. Hún nýtir ekki nema hluta af því afrennsli hálandisins austan Fljótsdals (Hrauna), sem hagkvæmt er talið að nýta. Nokkrir möguleikar hafa verið til athugunar til að fullnýta það.

1. Virkja afrennsli Hrauna sérstaklega til virkunar í Suðurdal í Fljótsdals (Hraunavirkjun).
2. Stækka núverandi Fljótsdalsvirkjun með veitum af Hraunum.
3. Sameina Fljótsdals- og Hraunavirkjun í eina virkjun í Suðurdal í Fljótsdal.

Síðasttalda virkjunarleiðin er því aðeins möguleg að ekki verði þörf fyrir Fljótsdalsvirkjun fyrr en eftir 2003. Rannsóknir Orkustofnunar hafa miðast við að afrennsli Hrauna verði virkjað sér (Hraunavirkjun, sjá mynd 3), en þær munu nýtast að fullu þótt önnur virkjunarleið verði fyrir valinu að lokum (Haukur Tómasson 1991, Halldór Pétursson 1993).









Unnið er að því að yfirfara þessar hugmyndir, og í töflu 7 er samanburður nokkurra kosta til að nýta Jökulsá í Fljótsdal og Hraunavatn, skv. nýjustu áætlunum.






Tafla 7: Samanburður á nokkrum leiðum til að virkja Jökulsá í Fljótsdal og afrennsli af Hraunum.

Virkjunarkostur	Orkugeta GWh/a	Stofnkostn. kr/(kWh/a)
Fljótsdalsvirkjun (LV)	1320	18,2
Hraunavirkjun n)	1970	17,6
Hraunavirkjun e)	1770	17,8
Flj.d.v. + Hraunaveita	3080	16,2
Flj.d.v. + Hraunav. n)	3170	13,7
Flj.d.v. + Hraunav. e)	3010	13,6

Hraunavirkjun

Skýringar:

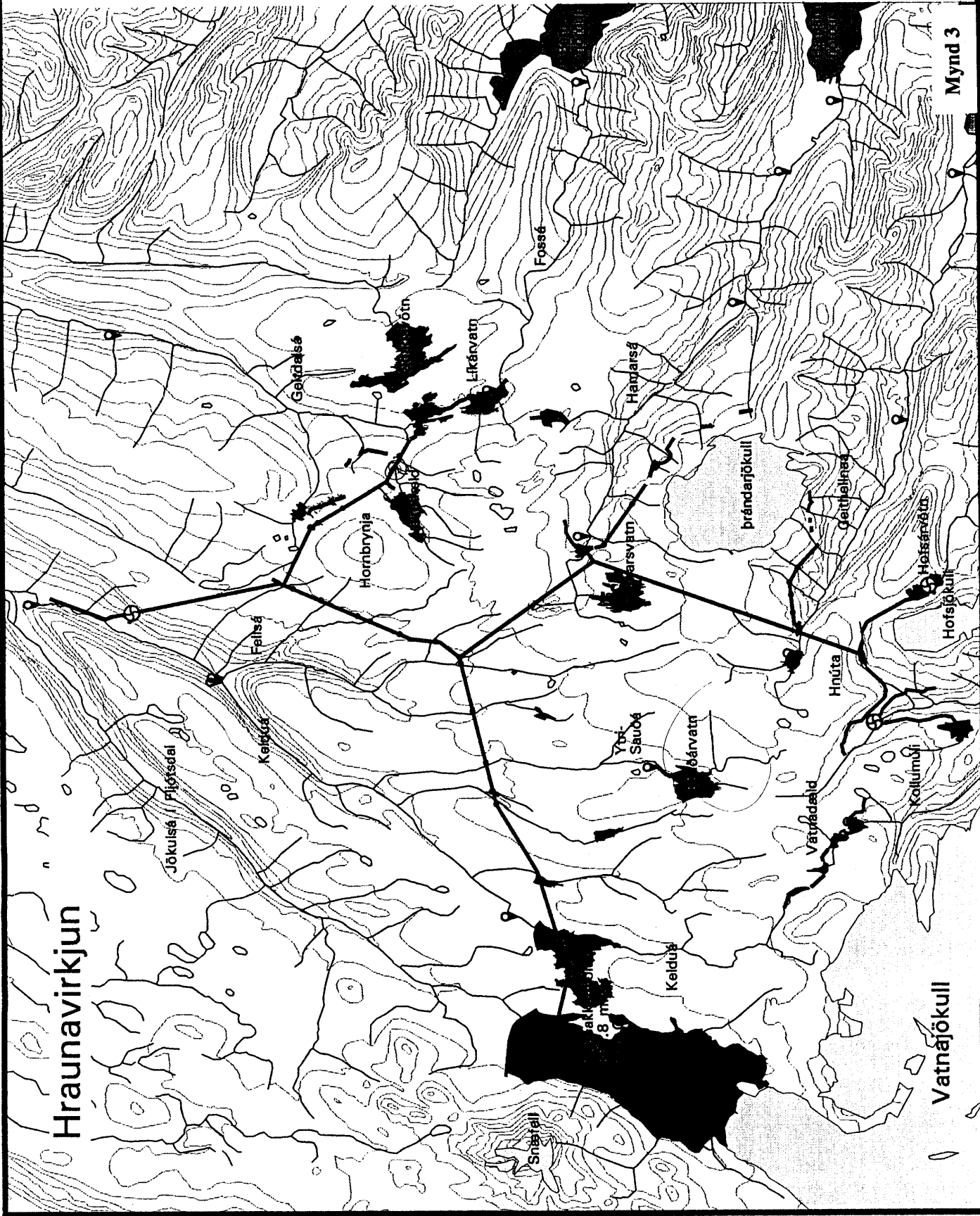
-  100 m hæðarlínur
-  Vatnaskil
-  Ár
-  Göng
-  Skurðir
-  Stíflur
-  Pípuskurðir
-  PEH-leiðslur

-  Vatnshæðarmælir
-  Stöðvarhús
-  Dælustöð
-  Lækjarinntök
-  Lón

Mælikvarði 1:180000



VOD-VÁ EEJ/HP
Mars 1995
Unnið í Arc/Info



Vatnajökull

Mynd 3

Vatnamælingar: Orkustofnun hefur rekið vatnshæðarmæla á láglendi í flestum þeim ám sem um ræðir í 17 til 24 ár. Sumar mælistöðvar hafa reynst erfiðar í rekstri, en í heild fullnægja þær kröfum til rekstrareftirlfkinga. Veitur til Hraunavirkjunar ná aðallega til afrennslis ofan u.þ.b. 700 m, og þar hafa á undanförnum 3-4 árum verið 10 mælar í rekstri. Samanburður á rennsli á hálandi og láglendi verður nýttur til að kvarða langar rennslisráðir í láglendismælunum að rennsli til Hraunaveitu.

Jarðfræði: Yfirlitskortlagningu er að mestu lokið af leið aðalgangna virkjunarinnar og veituleiðinni úr Hamarsá, en eftir er að kortleggja veituleiðir að Geitdalsá og Geithellnaá og vegna veitu afrennslis frá Þrándarjökli.

Engin sérstök vandkvæði hafa komið í ljós, en þó þarf að kanna betur brota- og misgengisbelti, sem liggur þvert á gangaleið frá Geitdalsá á Öxi (Árni Hjartarsson og Þórólfur H. Hafstað 1995).

Gróðurfar: Gróðurkort hafa verið gerð af meginhluta virkjunarsvæðisins (Rannsóknastofnun landbúnaðarins, handrit), og reyndar eru til gróðurkort sem ná yfir meginhluta allra virkjunarsvæða norðan og austan Vatnajökuls. Nákvæm úttekt hefur auk þess verið gerð á gróðurfari á Eyjabakka- og Kelduárvæði, sem varðar þessa virkjunarhugmynd, auk úttekta vegna virkjana í Jökulsá á Brú og Jökulsá á Fjöllum.

Samfelldur hágróður fer að strjálást eftir að komið er í meira en 600-650 m y.s., og þar hefur verið látið nægja að gera yfirlitskönnun (Kristbjörn Egilsson, handrit).

Tafla 8: Landnýting Hraunavirkjunar.

Lón/lónstæði	Flatarmál (km ²)	
	Heild	Gróið
Eyjabakkar að 645 m*	41,3	25,0
E. 645,4-668 m**	5,2	3,4
Kelduárlón**	6,9	5,2
Lón á Öxi**	10	2,5
Önnur lón**	12	1
Alls:**	34	~12

* Miðlunarlón Fljótsdalsvirkjunar.

** Viðbótarlónrými á Eyjabökkum og lón v. Hraunavirkjunar.

Ef undan eru skilin stækkun Eyjabakkalóns og Kelduárlón, er líttinn hágróður að finna í lónstæðum virkjunarinnar, nema við lónin á Öxi.

Bein landnýting vegna Hraunavirkjunar mun væntanlega ekki vega mikið í mati á umhverfisáhrifum. Líklega mun bætt aðgengi að þessu svæði, sem nú er óaðgengilegt, verða metið sem talsverð áhrif á umhverfið, ýmist til góðs eða ills. Ótvírátt er þó að fleiri munu eiga þess kost að njóta svæðisins eftir en áður. Syðsta veitusvæðið nær inn á hluta af vatnasviði Hofsfár í Álftafirði, sem er á Náttúruminjaskrá, og Jökulsár í Lóni sem er friðlýst. Gera má ráð fyrir talsverðu raski vegna yfirborðsveitna á þessu svæði, en um hluta þess liggja vinsælar gönguleiðir milli Snæfells og Lónsöræfa.

Umrædd yfirlitskönnun hefur auk gróðurfars náð til landslagsþátta og könnunar á lífi í vötnum á virkjunarsvæðinu. Eftir er að kanna lífríki þeirra vatnsfalla þar sem rennsli verður skert við virkjun, en það er á áætlun í ár.

Skerðing á meðalrennsli gæti numið meira en þriðjungu í Hamarsá og Geithellnaá. Heildarrennsli til Hamarsfjarðar og Álftafjarðar mun minnka úr um 70 í 55 m³/s, sem er nærri fjórðungs minnkun. Selta í fjórðunum gæti þannig breyst lítillega einkum næst ósum aðalána, en óvíst hver áhrif þess yrði á lífríki fjarðanna.

Tafla 9: Flatarmál vatnasviða og afrennsli þeirra vatnsfalla á Suðurfjörðum sem veitt yrði til Hraunavirkjunar. Samanburður veitna og viðkomandi vatnsfalla við ósa og við heildarrennsli til Hamarsfjarðar og Álftafjarðar.

Vatnsföll/ fjörður	Vatnasvið km ²	Afrennsli km ²	Rennsli m ³ /s	Hlutfall af heild %
Hamarsá, vhm. 248	273	83	22,7	
Geithellnaá, vhm 149	187	90	16,8	
Hofsá	188	90	16,9	
Selá	63	80	5,0	
Annað vatnasvið	160	60	9,6	
Alls	870	82	71,0	
<i>Til Hraunav.</i>				
Vatnasvið Hamarsár	84		8,7	38
" Geithellnaár	48		6,3	38
" Hofsár	11		1,1	6
Alls	143		16,1	23
Rennsli til sjávar eftir Hraunav.			55,0	

Gert er ráð fyrir að forathugun verði að mestu lokið 1995, þannig að niðurstaða varðandi tilhögun og orkukostnað liggji fyrir, en þó munu enn vera eftir ýmsir lausir endar bæði varðandi jarðfræði og umhverfismál, sem þyrfti að ganga frá 1996.

7.3 Virkjanir norðan Vatnajökuls

Um fjórðungur af hagkvæmri vatnsorku landsins er fólgin í stóru jökulánum norðan Vatnajökuls. Virkjun Jökulsár á Fjöllum og Jökulsár á Dal eru ásamt Hrauna- og Fljótsdalsvirkjun og hagkvæmustu kostum í virkjun Þjórsár í sérflokki hagkvæmustu virkjana landsins, ef hentugur markaður fæst.

Virkjun Jökulsár á Dal er komin á frumhönnunarstig, en undirbúningur að virkjun Jökulsár á Fjöllum er heldur skemur á vegi staddur. Landsvirkjun hefur að mestu yfirtekið þróun virkjunarhugmynda. Orkustofnun rekur enn grunnkerfi til rennslismælinga og tekur þátt í rannsóknum til undirbúnings mati á umhverfisáhrifum þeirra, m.a. útreikninga á aurfamburði og mati á áhrifum á sandstrendur við ósa ána. Ennfremur mun Orkustofnun aðstoða við uppsetningu

hitamæla á vatnshæðarmælistöðvum í ánum og við Lagarfjót til undirbúnings að líkanreikningum á hugsanlegum breytingum á hita Lagarfjóts eftir að ánum hefur verið veitt þangað. Orkustofnun vinnur að grunnvatnsrannsóknum við Jökulsá á Fjöllum og jarðfræðikortlagningu Fjallgarða á veituleið frá Jökulsá á Fjöllum að virkjun í Jökuldal, og einnig hefur hún tekið að sér jarðtæknirannsóknir vegna hönnunar sem útselda þjónustu til Landsvirkjunar.

Landsvirkjun gerir ráð fyrir að láta fara fram frummat á umhverfisáhrifum vegna virkjunar Jökulsár á Dal 1996/97, og e.t.v. verður einnig talið nauðsynlegt að virkjun Jökulsár á Fjöllum fylgi með. Það ræður hraða undirbúnings varðandi umhverfismál, en lengri tíma eða allt til 1999 má nýta til að ljúka öðrum grunnrannsóknum.

7.4 Skaftárveita til Tungnaár

7.4.1 Efra þrep

Jarðfræðilegar aðstæður eru þannig við Skaftá (hraun og sprungur) að vafasamt er talið að hægt verði að virkja ána í eigin farvegi. Orkustofnun hefur því lagt til að jökulvatni Skaftár verði veitt um Langasjó yfir á vatnasvið Tungnaár með miðlun í Langasjó og Lónakvísl. Miðlunarmöguleikar eru það rúmír, að auk miðlunar vegna veitu Skaftár má miðla talsverðu á móti rennsli Tungnaár (Halldór Pétursson o.fl. 1994).

Um tvær leiðir til veitu er að ræða, annars vegar um útfall Langasjávar (Útfall) og hins vegar með stíflu við enda Fögrufjalla. Reyndar er hugsanlegt að framrás Tungnaárjökuls, sem er yfirvofandi, taki í bili af okkur ómakið og beini hluta af Skaftá inn í Langasjó norðan Fögrufjalla eins og var þangað til fyrir um 30 árum síðan. Sú leið sem valin verður kann að velta á því hve mikinn kostnað menn vilja leggja í til að ná inn Skaftárhlaupum. Margt þykir benda til þess að stífla við enda Fögrufjalla, hvort sem hún verður til vegna framrásar jökulsins eða af mannavöldum, muni aðeins fanga lítinn hluta Skaftárhlaupa.

7.4.2 Neðra þrep

Í hlaupum setur áin af sér mikið set á aurum innan við Kamba. Þetta set hefur í vaxandi mæli valdið áfoki og gróðureyðingu á svæðinu milli Lakagíga og Skaftár frá því að hlaup byrjuðu um 1957. Vandséð er hvernig hægt er að stöðva það nema að setja aurasvæðin undir vatn. Stífla í ánni gengt Sveinstindi mun líklega kosta allt að milljarði, en það fer eftir því hve hátt þarf að stífla. Út í slíkan kostnað verður traudla lagt eingöngu vegna landgræðsu. Lón á þessum slóðum gæti nýst sem miðlun fyrir virkjanir neðar á vatnasviðum Skaftár og Tungufljóts, en slík virkjun er ekki á næstu grósum, því að rannsóknir á þeim kostum eiga langt í land.

Sú leið sem okkur virðist geta komið til álita á næstunni yrði fólgin í því að dæla vatni úr neðra lóninu upp í Langasjó og síðan eins og í efra þrepi.

Virkjun veitunnar úr Skaftá er fólgið í því að stækka þær virkjanir sem fyrir eru og taka tillit til hennar við hönnun nýrra virkjana. Kostnaður yrði þannig fólgin í mannvirkjakostnaði við veiturnar, dælustöð og raflsnur, og jaðarkostnaði við stærri virkjanir í Tungnaá og Þjórsá.

Miðað við að hleypa vatninu á núverandi virkjanir er heildarkostnaður af samanlagðri veitu og dælingu áætlaður 14,0 milljarðar kr og orkugeta 946 GWh/a (14,8 kr/kWh).

Miðað við að Búðarháls- og Sultartangavirkjun verði einnig komnar í notkun er heildarkostnaður áætlaður 17,3 milljarðar kr og orkugeta 1077 GWh/a (16,1 kr/kWh).

Tafla 10: Samandregnar niðurstöður um orkugetu og orkukostnað vegna veitu Skaftár til Tungnaár.

Veita	Orkugeta GWh/a	Stofnkostn. kr/(kWh/a)
Efra þrep	490	13,5
Neðra þrep	450	16,2
Bæði þrep	940	14,8

Miðað við að stækka núverandi virkjanir, þ.e. Sigöldu-, Hrauneyja- og Búrfellsvirkjun.

Þar sem nákvæm niðurstaða um orkugetu verður varla fengin öðru vísi en í rekstrareftirlíkingum í virkjunum sem Landsvirkjun rekur nú þegar, eða er með á verkhönnunarstigi, var þessum hugmyndum vísað til Landsvirkjunar til frekari athugunar. Samanburðarmælingar á vetrarrennsli á vatnshæðarmælistað við Sveinstind og hugsanlegum veitustöðum verður gerð í vetur og rannsóknir á jarðfræði hugsanlegra mannvirkjastaða fer fram í sumar. Ennfremur verður fylgst náið með yfirvofandi Skaftárhlaupi, og reynt að meta af eldri gögnum hvernig best er að standa að því að ná hlaupum sem mest inn í Langasjó.

Gera má ráð fyrir að grunnrannsóknum og forathugun vegna veitu til Langasjávar (efra þrep) verði að mestu lokið 1995, en lengri tími gefst til að kanna dælingu til Langasjávar (neðra þrep).

7.5 Urriðafossvirkjun

Ýmsar áætlanir eru til um virkjun við Urriðafoss frá fyrri tíð (Hörður Svavarsson 1981, Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen 1984). Þekking á aðstæðum er að flestu leyti ágæt, og lítið þarf til að endurskoða forathugun virkjunarinnar. Það er á áætlun í ári, og er hugmyndin að reikna hana með jarðgöngum í stað skurða áður. Neðanjarðarmannvirki eru talin þola jarðskjálfta betur en yfirborðsmannvirki.

Áformað er að gera gróðurkort af virkjunarsvæðinu í sumar.

Forathugun lýkur 1995.

7.6 Jökulsár í Skagafirði

7.6.1 Vestari Jökulsá

Ekki hefur fundist heppileg leið til að virkja V-Jökulsá í sérstakri virkjun. Hins vegar virðist einfalt að veita henni vestur á vatnasvið Blöndu, og bæta henni við Blönduvirkjun. Frumathuganir benda til að Blöndulón og virkjunin geti bætt henni á sig án frekari tilkostnaðar en þeim er felst í veitu hennar.

Vatnshæðarmælir er skammt frá veitustað, og rennsli þar því þokkalega ákvarðað. Nákvæm landakort eru til en jarðfræðin lítt þekkt. Áhrif á umhverfið felast einna helst í minnkuðu jökulvatnsrennsli í ánni á láglandi. Ekki er loku fyrir það skotið að leki úr veitunni geti komið gróðri til góða, þ.e. verði hann innan hóflegra marka, þannig að ekki þurfi að hætta við veitu hans vegna.

Jarðfræði og grunnvatnsaðstæður verða til athugunar í sumar.

Á árinu 1995 verður reynt að skera úr hvort veitan sé fýsilegur kostur.

7.6.2 Austari Jökulsá

Til eru áratuga gamlar áætlanir um virkjun árinna frá lóni við Austurbug, með veitum, að mestu á yfirborði, að virkjun neðanjarðar í Giljamúla (Stafnsvatnavirkjun). Ýmis afbrigð að veitum til árinna voru einnig athuguð (Hörður Svavarsson 1982, Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen 1984). Frá áætluðu frárennsli virkjunarinnar að inntakslóni Villinganesvirkjunar er enn 150 m fall sem engar áætlanir eru til um að virkja.

Lækkun einingarverða í jarðgöngum gáfu tilefni til að endurskoða þessar hugmyndir, og enn fremur að leita nýrra leiða. Að undanfögnu hefur verið til athugunar að virkja allt fallið að inntakslóni Villinganesvirkjunar með göngum í Nýjabæjarfjalli og nýta þá jafnframt afrennsli af því mikla úrkomusvæði sem fjallendið milli Skagafjarðar og Eyjafjarðar er (Merkigilsvirkjun). Meirihluti af því sem rennur til A-Jökulsár af Nýjabæjarfjalli er komið frá drögum í meira en u.þ.b. 700 m y.s.

Lokið er að gera stafræn staðfræðikort af Nýjabæjarfjalli, og með því að tölvutaka nokkur eldri kort Orkustofnunar, má sýna þessa virkjun í nokkuð öðru ljósi en vant er.

Langar rennlisserfúr eru til úr ánni í Austurdal og nokkurra ára mælingar í ánni nærri stíflu-stæði.

Jarðfræðirannsóknir vegna Stafnsvatnavirkjunar voru að nokkru leyti komnar á hönnunarstig, en miðlunarlón hennar er hið sama og fyrir Merkgilsvirkjun. Gangaleiðin hefur að mestu verið kortlögð.

Ítarlegum rannsóknum á náttúrufari vegna Stafnsvatnavirkjunar er lokið (sjá Þóroddur F. Þóroddsson o.fl. 1992), en eftir er að kanna það m.t.t. hugsanlegra áhrifa af Merkgilsvirkjun. Umhverfisáhrif miðlunarlóns eru aðallega komin undir áhrifum þess á Orravatsrústir. Þær eru á Náttúruminjaskrá, en áætlanir miða við að hlífa þeim. Austurdalur er að mestu ósnortin af umferð vélknúinna ökutækja, og vafalítið verða skiptar skoðanir um ágæti þess að opna dalinn fyrir slíku, sem er óhjákvæmilegt að verði að einhverju leyti.

Áætlun um rannsóknir miða við að ljúka forathugun 1997.

7.6.3 Stækkuð Villinganesvirkjun

Svo virðist sem það sé hagkvæmt að stækka Villinganesvirkjun með löngum frárennslisgöngum út í Héraðsvötn utan við Miklabæ. Grunnrennsli Norðurár (líklega um 5 m³/s) yrði veitt til virkjunarinnar, sem yrði neðanjarðar skammt utan við Flatartungu. Þessi virkjun nýtir sama inntakslón og sú Villinganesvirkjun sem leyfi hefur fengist fyrir. Umhverfisáhrif yrðu að mestu þau hin sömu og fyrir þá virkjun að viðbættum lengri kafla í Héraðsvötnum með mikið skert rennsli. Með áðurnefndum virkjunum í Skagafirði væri búið að fella út mestan hluta aurs Héraðsvatna.

Endurskoðun Villinganesvirkjunar m.t.t. stækkunar þarf að vera lokið 1998.

7.7 Efstadalsvirkjun í Brúará

Virkjað er um 70-80 m fall frá ármótum Hrutár og Brúarár niður undir Efstadal. Í stað yfirborðsveitu (Þorbergur Þorbergsson og Hörður Svavarsson 1985) er nú gert ráð fyrir aðrennslisgöngum í Efstadalsfjalli. Yfirborðsrask yrði fremur lítið, en lítið vatn yrði í Brúarfossi.

7.8 Íshólsvatnsvirkjun

Byggt er á gamalli hugmynd um virkjun úr Íshólsvatni niður í Bárðardal (Hörður Svavarsson og Freysteinn Sigurðsson 1986). Samkvæmt henni yrði stórt miðlunarlón í farvegi Skjálfandaflióts við Hrafnabjörg og veita úr Svartá og Suðurá. Þessi hugmynd var án allra tengsla við miðlunar- og virkjunarmöguleika ofar í ánni. Reynast þar vera hagstæðir möguleikar yrði ekki þörf svo mikils miðlunarlóns við Hrafnabjörg. Talið er eðlilegt að skoða þessa virkjunarmöguleika í heild, áður en nokkru er slegið föstu.

Koma þarf upp nýjum vatnshæðarmæli í Skjálfandaflióti við Fljótsgil og bæta þarf nokkru við staðfræðikort. Undirbúningur að hvorutveggja hefst á þessu ári. Stefnt er að því að setja mælinn upp 1996 og ljúka kortagerð 1998. Að óbreyttu hefst önnur gagnaöflun 1997.

Helstu umhverfisáhrif af virkjun Íshólsvatns felast í minnkun vatns í Aldeyjarfossi og fleiri foss-um sem eru á Náttúruminjaskrá. Ennfremur yrðu breytingar á Íshólsvatni, bæði vegna miðlunar og jökulskotins innrennsli úr Hrafnabjargarlóni, sem setur mikið land undir en um helmingur þess er þó áraur.

7.9 Markarfljótsvirkjun

Samkvæmt lauslegri forathugun var gert ráð fyrir stíflu í ánni ofan Markarfljótsgljúfurs, og virkjun 240 m falls. Þessi áætlun byggði á takmörkuðum rennslismælingum, en síðan hefur mikið mælt vatn runnið til sjávar. Þannig eru nú mikilvægar forsendur fyrri áætlana betur þekktar en fyrr, og gefa tilefni til endurskoðunar.

Kortleggja þarf jarðfræði á gangaleið frá miðlunarlóni að virkjun, sem yrði líklega staðsett við Einhryningsflatir, og kanna umhverfisþætti, líklega helst jarðfræði- og landslagsþætti.

Helstu umhverfisáhrif virkjunarinnar felast í minnkuðu rennsli um gljúfrin. Ýmsar merkar jarðfræðimenjar eru í lónstæði virkjunarinnar og landslag víða mikilfenglegt, en gróður er fremur strjáll.

7.10 Aðrar virkjanir

Ef undan er skilin virkjun Skaftár með veitu til Tunguflióts, nægir að ljúka forathugun annarra virkjana sem koma fyrir í einhverri virkjunarröð um 2005. Þessar virkjanir eru Hverfisfliót og fullvirkjun Þjórsár milli Búrfells og Urriðafoss. Engum rannsóknum þarf að flýta þar fyrr en um aldamót. Þegar svo aftarlega kemur í virkjanaraðirnar eru áætlanir almennt fremur ónákvæmar og gætu því ýmsir aðrir kostir allt eins komið til greina, svo sem virkjun í Efri Hvítá, í Hvalá í Ófeigsfirði, auk frekari virkjunar Skjálfandaflióts, sem að framan greinir.

7.11 Ályktanir

Hér að framan hefur verið farið yfir stöðu undirbúnings þeirra vatnsorkukosta sem koma fyrir í virkjunarröðunum.

Mikið álag verður í rannsóknum og forathugunum 1995 og fram á árið 1996, en úr því slaknar nokkuð á spennunni. Forathugun Hraunavirkjunar m.t.t þess að sameina hana og Fljótisdalsvirkjun hefði þurft að ljúka veturinn 1994 til 1995, en það dregst um 1 ár. Á öðrum virkjunarstöðum ætti að vera hægt að ljúka því sem gera þarf á árinu 1995 með forathugun veturinn 1995 til 1996, með þeim fyrirvara sem skylt er að hafa í huga gagnvart lokaforathugun, en forathugun lýkur í raun ekki fyrr en við frumhönnun.

Óvissan um það hvort reikna skuli með virkjun Jökulsár á Fjöllum í sviðsmynd 1.1. hefur lítil áhrif á rannsóknáætlanir Orkustofnunar fyrr en að nokkrum árum liðnum.

Þessi úttekt sýnir m.a. að gera þyrfti meira í rannsóknum smárra virkjanakosta, þ.e. með 300-500 GWh/a orkugetu og minni, sem gætu fallið vel að hægri aukningu raforkumarkaðarins.

Nota þarf það ráðrúm sem gefst þegar slaknar á bráðri þörf fyrir rannsóknir stórra virkjunarkosta til að auka fjölbreytni virkjana sem valið er úr og gera lauslega forathugun á sem mestu af þekktum virkjunarmöguleikum ef þar skyldu leynast hagstæðari kostir en þeir sem nú er úr að mæla.

8. Rannsókn háhitasvæða vegna raforkuvinnslu á næstu árum

Í allri umfjöllun undanfarna áratugi um nýjar virkjanir til að framleiða raforku í stórum stíl hefur athyglinni fyrst og fremst verið beint að vatnsorku. Jarðhita, þá sérstaklega háhita, hefur hins verið vegar lítil gaumur gefinn enda þótt um verulega stóra auðlind sé að ræða. Nú er raforka aðeins framleidd úr jarðhita á fjórum háhitasvæðum hérlendis, í Svartsengi, á Nesjavöllum, í Bjarnarflagi og Kröflu. Á þeim þremur stöðum, sem fyrst eru taldir, hefur raforkuframleiðslan aðallega verið aukabúgrein er skilar mjög lágu raforkuverði. Orkan, sem þar fæst, er aðallega nýtt til hitunar og iðnaðar. Krafla er aftur á móti eina íslenska háhitavirkjunin, sem eingöngu er byggð til raforkuframleiðslu. Saga hennar er flestum kunn. Hún varð fyrir verulegum áföllum, sem rekja má til eldvirkni og þess að ýmislegt í aðdraganda hennar og uppbyggingu fór úrskeiðis. Engu að síður hefur rekstur virkjunarinnar gengið þrýðilega.

Erfiðleikarnir við virkjun Kröflu urðu trúlega til þess að draga verulega úr áhuga á virkjun háhitasvæða til raforkuframleiðslu. Virðist þar litlu um breyta hversu vel hefur tekist til með virkjanir á Nesjavöllum og Svartsengi. Rannsóknir á óvirkjuðum háhitasvæðum hafa verið sáralitlar og þess vegna hafa jarðhitavirkjanir til þessa vart verið með í umræðunni um virkjunarraðir. *Skiptir þar einna mestu að hinn tölulega grundvöll vantar til að unnt sé með áreiðanlegum hætti að áætla kostnað við raforku sem framleidd er úr jarðhita.*

Á þeim 20 árum, sem liðin eru síðan hafist var handa við byggingu Kröfluvirkjunar, hefur margt breyst. Þá var nánast engin reynsla til hérlendis og óvilda erlendis fyrir virkjun og rekstri orkuvera á háhitasvæðum. Þekking manna á eðli og viðbrögðum háhitasvæða hefur aukist mikið við reynslu síðustu 20 ára af rekstri háhitavirkjana víða um heim. Þetta hefur meðal annars leitt til þess að hugmyndafræðin á bak við uppbyggingu raforkuvera, sem nýta jarðhita, hefur gjörbreyst. Jafnframt hefur það leitt til að farið er að beita mun hagkvæmari aðferðafræði en beitt var áður, t.d. þegar Kröfluvirkjun var byggð.

Hér á eftir verður tæpt á þessari nýju hugmyndafræði og hvaða afleiðingar hún getur haft, fjallað um stöðu háhitarrannsókna á Íslandi og að lokum hvað þarf að gera til þess að jarðhitinn hljóti eðlilegan sess í uppbyggingu framtíðarinnar á raforkukerfi landsins.

8.1 Aðferðafræði háhitarrannsókna

Fram á síðustu ár hefur hugmyndafræðin, sem liggur til grundvallar rannsóknum vatnsfalla einnig verið látin gilda um háhitarránsóknir. Þetta gildi þrátt fyrir það að nokkuð augljós grundvallarmunur er á þessum tveimur orkulindum. Augljósast kemur munurinn fram í því, að vatnsorkan er sýnileg berum augum og aðgengileg á yfirborði jarðar en orka háhitasvæðanna er að mestu falin á 1000-3000 m dýpi í jörðinni.

Vatnsorkan er metin út frá margfeldi fallhæðar og rennslis. Því eru nákvæm landakort og mælingar á rennsli fallvatna hornsteinar vatnsorkuránsókna. Kortin nægir að gera í eitt skipti. Náttúrulegar sveiflur í veðurfari valda því aftur á móti að áratuga samfelldar mælingar á rennsli fallvatna þarf til að skapa nógu traustar niðurstöður til að byggja á ákvörðun um stærð virkjunar. Þegar þessar upplýsingar liggja fyrir er leitað að hagkvæmstu tilhögun virkjunar að teknu tilliti til ýmissa annarra þátta t.d. umhverfisaðstæðna. Síðan er virkjunin reist í fullri stærð með tilliti til rennslis og fallhæðar. *Háhitaorkan* er á hliðstæðan hátt metin út frá margfeldi rennslis og vermis (hita). Þegar hugmyndafræði vatnsorkuránsókna er beitt á jarðhitann verður rannsóknamatinn sem hér fer á eftir.

- Háhitasvæðin eru fyrst fundin og afmörkuð með almennum jarðfræði- og jarðeðlisfræðiránsóknum. Þetta má segja að jafngildi því stigi í vatnsorkuránsóknum að kanna hvar árnar eru, hvaðan þær koma og hvert þær renna.
- Næst þarf að bora rannsóknarholur til að fá upplýsingar um vermið. Það er nokkurn veginn hliðstætt kortlagningu landhæðar vegna vatnsorkuránsókna.
- Til að fá upplýsingar um rennslið úr jarðhitasvæðinu þarf að bora vinnsluholurnar og láta þær blása árum saman til að fá sambærilegar upplýsingar um rennsli og vatnamælingar gefa í vatnsorkuránsóknum.
- Að þessum upplýsingum fengnum eru forðafræðilegir eiginleikar svæðisins metnir og ákveðið hversu stórri virkjun viðkomandi svæði geti staðið undir.

Í þessu birtist annar meginmunur orku vatns og jarðhita hvað raforkuvinnslu varðar. Ástæðan er sú að þessi framgangsmáti felur í sér borun vinnsluhola og þar með þarf að leggja út umtalsverðan hluta virkjunarkostnaðar löngu áður en ákvörðun um virkjun er tekin. Þetta hefur leitt til stöðnunar í rannsóknum háhita, því að fæstum þykir fýsilegt að fjárfesta í vinnsluholum svo löngu áður en til ákvörðunar um virkjun kemur.

Smám saman hefur þeim sem starfa að jarðhitamálum, jafnt hérlendi sem erlendis, orðið ljóst að framangreind aðferðafræði hentar ekki háhitarránsóknum og hagkvæmri virkjun jarðhita til framleiðslu raforku. Ný aðferðafræði hefur verið þróuð sem tekur mið af eðlismun háhita og orku fallvatna. Þessari aðferðafræði var t.d. ítarlega lýst í erindi Valgarðs Stefánssonar á ársfundi Orkustofnunar árið 1992. Hér á eftir verða rífaðar upp helstu hugmyndir hinnar nýju aðferðafræði.

Hin nýja aðferðafræði byggist í höfuðdráttum á því að virkja hvert háhitasvæði í mörgum, litlum, stöðluðum einingum (20 MW) í stað þess að sérhanna hverja virkjun samkvæmt heildargetu svæðisins og eiginleikum jarðhitavökvans. Þetta stýttir verulega tímann, sem líður frá því að

lagt er í meiriháttar fjárfestingu uns tekjur fara að skila sér. Einingarnar er t.d. hægt að flytja milli svæða ef á þarf að halda. Aðferðin felur í sér eftirtalin fimm stig rannsókna:

1. **Frumrannsóknir**, fela í sér lauslega skoðun á jarðfræði, grófa athugun á eðlisviðnámi jarðlaga og efnagreiningar á gufu- og vatnssýnum. Þessar frumrannsóknir gefa til kynna hvort líklegt sé að virkjanlegt háhitasvæði sé til staðar. *Þessu stigi má ljúka á einu ári.*
2. **Yfirborðsrannsóknir**, taka til ítarlegri rannsókna á yfirborði eins og efnagreininga á gufu og vatni frá öllum hverum og laugum á svæðinu, nákvæmari jarðfræðikortlagningar og viðnámsmælingum. Rannsóknin metur líklegan hita í jarðhitakerfinu, stærð svæðisins og gefur til kynna vænlega staði til rannsóknarborana. *Þetta stig tekur almennt 2 ár.*
3. **Rannsóknarboranir**, innifela borun tveggja (2) rannsóknarhola til þess að kanna vinnslueiginleika jarðhitakerfisins. Almennt er gert ráð fyrir 1.000-2.000 m djúpum rannsóknarholum, er gætu í sumum tilvikum nýst sem vinnsluholur eða til niðurdælingar. Á þessu stigi fara fram landmælingar og aðrar sérhæfðar mælingar á virkjunarstað. *Þessu lýkur alla jafna á einu ári.*
4. **Vinnsluboranir og virkjun**, fela í sér borun vinnslu- og niðurdælingarhola fyrir eina 20 MW einingu og uppsetningu hennar. Jafnframt fara fram ýmsar sérhæfðar rannsóknir á virkjunarstað svo sem nákvæmar þyngdarmælingar til þess að hafa til viðmiðunar þegar vinnsla hefst. *Framkvæmdatími er um tvö ár.*

8.2 Afkastamat

Afkastamat í jarðhita felst í forðafræðiúttekt á viðbrögðum jarðhitakerfisins við vinnslu eftir að 20 MW einingin er komin í rekstur. Forðafræðiúttektin byggir aftur á nákvæmu vinnslueftirliti. Ákvörðun um næstu 20 MW einingu byggir síðan á niðurstöðum framangreindar úttektar. Áhrif næstu einingar eru síðan metin þegar rekstur hennar hefur hafist og þannig koll af kolli. Vinnslueftirlitið er samfelld aðgerð sem heldur áfram svo lengi sem jarðhitakerfið er nýtt. Heildarafköst svæðisins, og þar með hversu mörgum 20 MW einingum svæðið stendur undir, er hvorttveggja ákvarðað í samræmi við viðbrögð þess við vinnslu.

Þetta er gjörólíkt þeirri aðferðafræði sem beita þarf við virkjun vatnsorku og rannsóknnum þar að lútandi. Samsvarandi aðferðafræði og notuð er við virkjun jarðhita gengur því augljóslega ekki við vatnsaflsvirkjanir. Þær hefðu í för með sér að leggja þyrfti í stærsta hluta heildarkostnaðarins fyrir umtalsvert minni virkjun en hagkvæmt væri. Hin nýja aðferðafræði jarðhitarannsókna vegna raforkuvinnslu tekur þannig mið af eðli jarðhitans og á hvern hátt heppilegast er að standa að virkjun hans.

Aðferðin hefur þó þann ókost að tiltölulega langan tíma tekur að fullvirkja hvert jarðhitasvæði. Til að ná háum virkjunarhraða með jarðhita þarf því að hafa mörg svæði undir því næst á sama tíma. Það þýðir jafnframt að rannsóknir þurfa að vera í gangi á mörgum svæðum og vera komnar á það stig að unnt sé að hefja þar virkjun með skömmum fyrirvara. Lagt hefur verið gróft mat á hver væri kostnaður við að rannsaka nýtt jarðhitasvæði frá frumrannsóknum til þess tíma að afkastamat, byggt á fyrstu 20MW einingunni liggur fyrir. Þetta er sýnt í töflu 11 ásamt þeim tíma sem ætla má að framkvæmdin taki.

Tafla 11: Tími og kostnaður fyrstu virkjunar á jarðhitasvæði - Rannsóknarstig/verkhættir.

Rannsóknarstig/verkhættir	Tími [ár]	Kostnaður [Mkr]
<i>Frumrannsóknir</i> TEM-viðnámsmælingar Gróft Jarðfræðikort Efnasýni	1	7
<i>Yfirborðsrannsóknir</i> TEM-viðnámsmælingar Djúpvíðnámsmælingar Nákvæmt jarðfræðikort Efnafræði	2	14
<i>Rannsóknaboranir</i> Tvær borholur Landmælingar Sérrannsóknir	1	200
<i>Vinnsluboranir-virkjun</i> Átta (8) vinnslu-/niðurdælingarholur 20 MW virkjun Gufuveita Stöðvarhús	2	2.000
Virkjun fyrstu 20 MW einingar	6	2.221
<i>Vinnslueftirlit-afkastamat</i> Gagnasöfnun Hermireikningar	3-4	70
Ákvörðun um virkun næstu 20 MW einingar		
<i>Vinnsluboranir-virkjun (sjá ofan)</i>	2	2.000
<i>Virkjun næstu 20 MW einingar</i>	11-12	2.070

8.3 Virkjanaraðir og staða jarðhitans

Í töflu 5 hér að framan, þar sem taldir eru upp virkjanakostir hinna mismunandi sviðsmynda, eru mjög fáar jarðhitavirkjanir taldar með. Jarðhitavirkjanir, sem þar eru taldar, eru einungis á jarðhitasvæðum sem þegar hefur verið borað í og gufa unnin úr um langt skeið. Höfuðástæðan er sú að undirbúningsrannsóknir vegna virkjunar háhita eru víðast hvar of skammt á veg komnar til að unnt sé að fá nógu áreiðanlegar tölur í orkuverðs- og hagkvæmniútreikninga. Það sem ef til vill er þó verra er að litlar líkur eru á að úr því verði bætt á næstu árum.

Ástæðan er hin mismunandi skilgreining Orkustofnunar á hlutverki sínu hvað varðar rannsóknir til undirbúnings virkjunar eftir því hvort um vatnsorku eða jarðhita er að ræða. Orkustofnun kostar af almennri fjárveitingu sinni þrjú fyrstu stiga rannsókna vegna vatnsorku og nægir það til að gefa bæði upplýsingar um rennsli og fallhæð. Á sviði jarðhita kostar Orkustofnun af fjárveitingu sinni aðeins tvö fyrstu rannsóknarstigun að hluta til. Þau nægja hvorki til að veita öruggar upplýsingar um hita né rennsli. Meginástæða þessa mismunar er hár kostnaður við borun hvernar háhitaholu í samanburði við heildarfjárveitingar til Orkustofnunar. Frá sjónarmiði

orkurannsóknna, óháð tegund orkugjafans, kemur þessi afstaða sér einkum illa fyrir rannsóknir tengdar jarðhita og virkar mjög takmarkandi fyrir þær. Munurinn á heildarkostnaði undirbúningsrannsóknna fyrir jarðhitavirkjun og vatnsaflsvirkjun er ekki mikill og er hér því um að ræða vandamál sem fremur tengist árlegu flæði fjármögnunar en kostnaði slíkra rannsókna.

8.4 Staða rannsókna á háhitasvæðum landsins

Talið er að á Íslandi séu 27 háhitasvæði, sem öll eru staðsett í rekbeltinu er liggur þvert í gegnum landið. Af þeim er 21 svæði talið virkjanlegt. Tafla 12 gefur yfirlit yfir þau háhitasvæði, sem talin eru álitlegust til virkjunar miðað við núverandi þekkingu. Jafnframt eru þar tilgreindir helstu virkjunarstaðir innan hvers svæðis og sýnt hvar á vegi rannsóknir þeirra eru staddar.

Á síðastliðnum fimmtán árum hefur Orkustofnun af og til sinnt frumrannsóknum og yfirborðsrannsóknum á háhitasvæðum. Þessi vinna hefur verið allstopul og einkum unnin ef fengist hafa sérfrjárveitingar til rannsókna á einhverju tilteknu svæði. Engu að síður hefur tekist að koma rannsóknum eftirtalinna háhitasvæða að rannsóknarborstigi: Trölladyngju, Þeistareykjum, Vestur-Hengli, Ölkelduhálsi og Öxarfirði.

Síðustu þrjú árin hefur verið unnið skipulegar að rannsókn háhitasvæða landsins. Þar koma til sögu tvö nokkuð stór verkefni, annars vegar verkefni sem ber heitið "Rannsókn háhita til raforkuvinnslu" og hins vegar verkefni er nefnist "Umhverfisáhrif jarðhitavinnslu". Rannsóknir þessar eru kostaðar og unnar í samvinnu Orkustofnunar og fjögurra stærstu orkufyrirtækja landsins, þ.e. Landsvirkjun, Hitaveitum Akureyrar, Reykjavíkur og Suðurnesja.

Trölladyngja: Þar hófust yfirborðsrannsóknir upp úr 1980 og lauk með skýrslu árið 1987. Allar mælingar voru kostaðar af ríkisfrjárveitingu Orkustofnunar en úrvinnsla þeirra var unnin sem söluverk fyrir Lindalax h.f. Staðsettar hafa verið tvær rannsóknarborholur á svæðinu út frá niðurstöðum yfirborðsrannsókna.

Þeistareykir: Þar lauk yfirborðsrannsóknum með skýrslu er út kom árið 1984. Rannsóknin var unnið fyrir sérfrjárveitingu frá Alþingi. Í skýrslunni var gerð tillaga um staðsetningu fyrstu rannsóknarholunnar.

Vestur - Hengill: Yfirborðsrannsóknum lauk þar með skýrslu árið 1983 og bar Hitaveita Reykjavíkur kostnað af þeirri rannsókn. Staðsett var rannsóknarhola sem Hitaveita Reykjavíkur lét bora. Næstu skref á svæðinu eru vinnsluboranir og virkjun.

Öxarfjörður: Skýrslu um yfirborðsrannsóknir á svæðinu lauk árið 1993. Tillaga var þar gerð um staðsetningu rannsóknarholu. Verkið var að hluta til unnið fyrir almenna frjárveitingu Orkustofnunar og að hluta til fyrir sérfrjárveitingu frá Alþingi. Svæðið er því komið að rannsóknarborstigi.

Ölkelduháls: Árið 1993 lauk yfirborðsrannsóknum þar með skýrslu og staðsetningu rannsóknarholu. Verkið var kostað í sameiningu af Hitaveitu Reykjavíkur og Orkustofnun. Um áramótin 1994-95 var fyrsta rannsóknarholan boruð á kostnað Hitaveitu Reykjavíkur og þykir hún lofa góðu um framhaldið.

Brennisteinsfjöll: Þar hófst frumrannsókn árið 1992 og skýrsla um yfirborðsrannsóknir er væntanleg á þessu ári. Niðurstöður lofa góðu og svæðið telst vera að komast á rannsóknarborstig. Verkið er kostað af Orkustofnun sem hluti af verkinu "Rannsókn háhitasvæða til raforkuvinnslu".

Tafla 12: Yfirlit yfir vænlega virkjunarstaði háhita.

Jarðhitasvæði	Virkjunarstaður	Næsta framkvæmd/rannsókn	Fýsileg stærð virkjunar MW
Reykjanes	Reykjanes I-V	Virkjað-vinnslueftirlit	100
Svartsengi	Svartsengi	Virkjað-vinnslueftirlit	20
Trölladyngja	Trölladyngja I-IV	Rannsóknarboranir	80
Brennisteinsfjöll	Brennisteinsfjöll I-IV	Brennisteinsfjöll	80
Hengill	Nesjavellir I-II	Virkjað-vinnslueftirlit	80
	Ölkelduháls I-IV	Yfirborðsrannsóknir	80
	Vestur Hengill I-IV	Vinnsluboranir-virkjun	80
	Grensdalir I-IV	Yfirborðsrannsóknir	80
	Hverahlöð	Yfirborðsrannsóknir	
	Hveragerði	Vinnsluboranir-virkjun	
Torfajökull	Torfajökull I-V	Yfirborðsrannsóknir	100
Námafjall	Bjarnarflag I-V Hverarönd	Vinnsluboranir-virkjun Rannsóknarboranir	100
Krafla	Kröfluvirkjun I-II	Virkjað-vinnslueftirlit	30
		Rannsóknarboranir	30
Peistareykir	Peistareykir I-IV	Rannsóknarboranir	80
Öxarfjörður	Öxarfjörður I-IV	Rannsóknarboranir	80
Krísuvík	Sveifluháls Sandfell	Vinnsluboranir-virkjun	
		Yfirborðsrannsóknir	
Prestahnúkur	Prestahnúkur	Frumrannsóknir	
Kerlingarfjöll	Kerlingarfjöll	Frumrannsóknir	
Fremrinámar	Fremrinámar	Frumrannsóknir	
Hveravellir	Hveravellir	Frumrannsóknir	
Blautakvísl	Blautakvísl	Frumrannsóknir	
Köldukvíslabotnar	Köldukvíslabotnar	Frumrannsóknir	
Vonarskarð	Vonarskarð	Frumrannsóknir	
Gjástykki	Gjástykki	Frumrannsóknir	

Torfajökulssvæðið: Tekið var til við frumrannsóknir og yfirborðsrannsóknir þar árið 1993. Svæðið er að flatarmáli stærsta háhitasvæði á Íslandi og þar eru margir mögulegir virkjunarstaðir. Áætlað er að verkið taki nokkur ár í viðbót miðað við svipað umfang rannsókna og hraða sem undanfarin ár. Verkið er kostað af Orkustofnun sem hluti af verkefninu "Rannsókn háhita til raforkuframleiðslu".

Auk rannsókna sem lúta beinlínis að ákveðnu virkjunarsvæði eða stað, hafa farið fram á Orkustofnun ýmsar undirstöðurrannsóknir á sviði jarðhita. Þar er bæði um að ræða þróun aðferða til rannsókna háhita, sem miða að því að gera rannsóknaraðferðir eins öruggar og ódýrar og kostur er á, og rannsóknir sem miða að því að auka skilning á þeim ferlum sem eru í gangi í jarðhita-kerfunum. Af slíkum verkefnum bera einna hæst þróun nýrrar aðferðar í viðnámsmælingum,

kerfisbundin rannsókn á forðafræðilegum eiginleikum bergs í jarðhitakerfum, fræðileg rannsókn á fyrirkomulagi niðurdælingar og rannsóknir á umhverfisáhrifum jarðhitavinnslu.

Fyrst nefnt verkefni er þróun svonefndra *TEM-viðnámsmælinga*, en mælingar á viðnámi jarðlaga eru ásamt jarðfræðikortlagningu og efnafræðiaðferðum mikilvægustu þættir frum- og yfirborðsrannsókna á háhitasvæðum. Með tilkomu TEM-mælinganna reyndist mun auðveldara og jafnframt ódýrara að mæla viðnám í jörðu á háhitasvæðum en með eldri og hefðbundnari aðferðum. Aðferðaþróunin hefur verið kostuð af fjárveitingu Orkustofnunar.

Af rannsóknum sem hæst ber til skilnings á eðli og túlkun á hegðun jarðhitasvæða er kerfisbundin *rannsókn á forðafræðilegum eiginleikum bergs* í jarðhitakerfum og fræðileg rannsókn á fyrirkomulagi niðurdælingar. Þessi verkefni hafa verið kostuð sameiginlega af Orkustofnun og ýmsum orkufyrirtækjum. Það sama gildir um viðamikið rannsóknarverkefni sem tekur til *umhverfisáhrifa jarðhitavinnslu*. Í því verkefni hefur verið lögð áhersla á úttekt ýmissa umhverfisþátta á virkjuðum jarðhitasvæðum og öflun grunnupplýsinga á óvirkjuðum svæðum. Megináhersla hefur til þessa verið á loft- og vatnsmengun. Eins hefur verið í gangi nýstárlegt samvinnuverkefni með Háskóla Íslands og orkufyrirtækjum til að meta áhrif vinnslu á jarðhitasvæði. Byggist það á fjarkönnun með innrauðum mælingum úr flugvél og samanburðartúlkun þeirra. Eins er í undirbúningi samvinnuverkefni um smáskjálftamælingar með Veðurstofnunni og fleirum til staðsetningar á virkum vatnsgæfum sprungum.

8.5 Jarðhitasvæði sem þegar eru tilbúin til virkjunar

Eins og áður hefur verið getið eru jarðhitasvæðin á Nesjavöllum og í Kröflu tilbúin til viðbótarvirkjunar. Jafnframt eru jarðhitasvæðin í Bjarnarflagi og á Reykjanesi þegar tilbúin fyrir loka-stigið, þ.e. vinnsluboranir og virkjun. Vestur-Hengill stendur aðeins verr í þessu tilliti. Tafla 13 gefur yfirlit um þá staði sem nú þegar eru tilbúnir til virkjunar, séð frá stöðu undirbúningsrannsókna og tímasetningar. Sökum þeirrar þekkingar sem fengist hefur af umtalsverðri áratuga vinnslu úr svæðunum, bæði í Bjarnarflagi og á Reykjanesi, er talið að jafnvel megi virkja allt að tvær grunneiningar (2x20 MW) í einum áfanga á báðum þessum stöðum.

Tafla 13: Jarðhitasvæði þegar tilbúin til fyrstu 20 MW virkjunar.

Jarðhitasvæði	Virkjunarstaður	Lísklegt afl MW	Tímasetning
Hengill	Nesjavellir	80	1995
	Vestur Hengill	60-80	1995-1997
Reykjanes	Reykjanes	100	1995
Námafjall	Bjarnarflag	100	1995

8.6 Rannsóknir næstu ára

Eins og fram hefur komið er áformað að nota niðurstöður athugana á hagkvæmni virkjunarraða til þess að ákveða áherslur og forgangs röðun rannsókna til undirbúnings jarðhita- og vatnsorku- virkjun næstu tvo áratugi. Sá ljóður er þó á því ráði að stór hluti jarðhitasvæða landsins er ekki með í þeim virkjanaröðum sem skoðaðar hafa verið, einfaldlega af því að rannsóknum á þeim hefur ekki verið sinnt nægilega. Það er einnig fyrirsjáanlegt að þær munu ekki komast inni í virkjanaraðir framtíðarinnar nema rannsóknum á þeim verði sinnt á næstu árum. Því

verður ekki hjá því komist að auka jarðhitarannsóknir verulega frá því sem nú er ef menn ætla sér yfirleitt að nýta í framtíðinni þá miklu orku sem fólgin er í háhitasvæðunum.

Tvenns konar háhitarannsóknir eru þörf. Í fyrsta lagi þarf áfram að vinna jafnt og þétt að frumrannsóknnum og yfirborðsrannsóknnum á líklegum virkjunarsvæðum þar sem rannsóknir eru enn ekki hafnar. Þannig má koma öllum þeim jarðhitasvæðum, sem líklegt er talið að til greina komi til raforkuframleiðslu, að rannsóknarborunarstigi. Tafla 14 gefur yfirlit yfir helstu svæði og staði, á hvaða rannsóknastigi þeir eru og hvenær æskilegt væri að rannsóknaboranir gætu hafist.

Tafla 14: Rannsóknir jarðhitasvæða fram yfir aldamót til undirbúnings virkjunar.

Jarðhitasvæði	Virkjunarstaður	Rannsóknarþörf	Tímasetning
Hengill	Hengladalir	Rannsóknastig 2-3	2000
	Hverahlöð	Rannsóknastig 2-3	2010
Brennisteinsfjöll	Brennisteinsfjöll	Rannsóknastig 1-3	2000
Torfajökull	Ca. fimm virkjunarstaðir	Rannsóknastig 2-3	2005
Gjástykki	Gjástykki	Rannsóknastig 1-3	2010

Í öðru lagi er nauðsynlegt að hefjast hið fyrsta handa við kerfisbundnar rannsóknaboranir á háhitasvæðum landsins. Til þess að það verði unnt þarf að yfirvinna þann þröskuld fjármögnunar, sem hindrað hefur rannsóknaboranir á háhitasvæðum landsins í u.þ.b. síðustu. 20 ár, ef frá eru taldar holur þær sem Hitaveita Reykjavíkur hefur látið bora á Hengilssvæðinu utan Nesjavalla. Kostnaður við hverja slíka rannsóknaborun er um 100 Mkr. Það yrði strax veruleg framför ef unnt reyndist að bora eina rannsóknaholu á háhitasvæði annað hvert ár. Með því móti yrði árlegur kostnaður við háhitarannsóknir að meðaltali svipaður og árlega er varið til vatnamælinga. Vatnamælingar eru að hluta til kostaðar af raforkuframleiðendum og hugsanlega mætti hafa svipað fyrirkomulag á rannsókn háhitasvæða til raforkuvinnslu.

Tafla 15 sýnir helstu háhitasvæði þar sem næsta rannsóknarstig er rannsóknaboranir. Taflan kynnir einnig æskilega tímasetningu rannsóknaborana á svæðunum.

Tafla 15: Rannsóknaboranir á jarðhitasvæðum fram yfir aldamót.

Jarðhitasvæði	Virkjunarstaður	Tímasetning	Samstarfsaðili
Þeistareykir	Þeistareykir	2012	?
Öxarfjörður	Bakkahlaup	2015	?
Krísuvík	Sandfell	2005	?
	Trölladyngja	1999	?
Krafla	Vesturhlíðar	1998	Landsvirkjun
	Vítismór	1996	"
	Sandbotnaskarð		"
Hengill	Ölkelduháls	1995	H. Reykjavíkur

8.7 Aðrar rannsóknir

Eitt af því sem mest háir markvissum samanburði vatnsorku- og jarðhitavirkjana er haldbetri þekking á orkugetu þeirra. Til þess þarf að fjölga talsvert verkhönnunaráætlunum fyrir jarðhitavirkjanir. Jafnframt vantar að koma skekkjumörkum stofnkostnaðar- og rekstraráætlana beggja tegunda virkjana á sambærilegt stig. Í þessari virkjunarraðakönnun eru allar áætlanir um rekstur og stofnkostnað jarðhitavirkjana byggðar á verkhönnunaráætlun Verkfræðistofu Guðmundar og Kristjáns (VGK) hf og Orkustofnunar frá 1994, er unnin var fyrir Landsvirkjun sem hluti "Raforkuverkefnisins". Verkhanna þarf í þessum tilgangi nokkrar jarðhitavirkjanir á mismunandi stöðum á landinu.

Auk rannsókna á ákveðnum virkjanastöðum er nauðsyn á áframhaldandi þróun aðferða og undirstöðurannsóknum jarðhita. Enn er ýmsum grundvallarspurningum ósvarað. Þar má til dæmis nefna að háhitasvæðin eru einungis lítil hluti gosbeltanna þar sem vænta má að mjög hátt hitaflæði sé til yfirborðs. Þeirri spurningu er ósvarað hvort fá megi háhitaorku vðar í gosbeltinu en innan háhitasvæðanna með því einu að bora þar t.d. 1-2 km dýpra en gera þarf á háhitasvæðunum. Slíkur möguleiki yki jarðhitann sem nýtanlega orkulinda langt umfram það sem háhitasvæðin ein gefa til kynna.

9. Heimildir

- Árni Hjartarsson og Þórólfur H. Hafstað 1995. *Sviðinshornahraun, berggrunnskort vegna Hraunavirkjunar*. Orkustofnun, OS-95003/VOD-02 B.
- Halldór Pétursson 1993. *Hraunavirkjun, forathugun - kerfisgreining*. Orkustofnun, OS-93064/VOD-12 B, 36 bls. + uppdættir.
- Halldór Pétursson, Birgir Jónsson, Erlingur Jónasson og Hákon Aðalsteinsson 1994. *Skaftárveita til Tungnaár, lausleg forathugun*. Orkustofnun, OS-94051/VOD-09 B, 12 bls. + viðaukar með korti.
- Haukur Tómasson 1992. *Hraunavirkjun meiri, lausleg forathugun*. Orkustofnun, OS-92046/VOD-12 B, 31 bls.
- Hörður Svavarsson 1981. *Þjórsárvirkjanir, forathugun á virkjun Þjórsár neðan Búrfells*. Orkustofnun, greinargerð HS-81/02, 24 bls. + kort.
- Hörður Svavarsson 1982. *Jökulsár í Skagafirði, forathugun á virkjunarkostum*. Orkustofnun, OS-82086/VOD-13, 34 bls. + kort.
- Hörður Svavarsson og Freysteinn Sigurðsson 1986. *Íshólsvatnsvirkjun, forathugun*. Orkustofnun, OS-86065/VOD-21 B, 51 bls. + kort.
- Orkustofnun og Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns hf 1994. *Jarðvarmavirkjun í Bjarnarflagi Verkhönnun*. Landsvirkjun og Orkustofnun, febrúar 1994, 71 bls. + viðaukar.
- Strengur hf 1993. *Orkugeta og uppsett afl jarðgufustöðva*. Greinargerð fyrir Orkustofnun, 06.09.93/SJ.
- Strengur hf 1995. *Framleiðslukostnaður orku frá jarðgufustöðvum*. Greinargerð, 16.03.95/MS.
- Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf 1984a. *Þjórsárvirkjanir, forathugun á virkjunaraðstæðum neðan Búrfells*. Orkustofnun, OS-84106/VOD-12, 20 bls. + uppdættir og viðauki um umhverfismál.
- Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf 1984b. *Virkjun Austari-Jökulsár, Stafnsvatnavirkjun forathugun*. Orkustofnun, OS-84105/VOD-11, 37 bls. + uppdættir.
- Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf 1993. *Virkjanalíkan Orkustofnunar*. febrúar 1993
- Þorbergur Þorbergsson og Hörður Svavarsson 1985. *Efstadalsvirkjun í Brúará, forathugun*. Orkustofnun, OS-85118/VOD-25 B, 9 bls.
- Þorbergur Þorbergsson og Hörður Svavarsson 1986. *Markarfljótsvirkjanir, forathugun*. Orkustofnun, OS-86004/VOD-03 B, 17 bls. + kort.
- Þóroddur F. Þóroddsson, Jóhann Pálsson og Þórir Haraldsson 1992. *Jökulsár í Skagafirði - Hofsafrétt. Staðhættir og náttúrufar á áætluðum virkjunarsvæðum*. Könnun gerð af Náttúrufræðistofnun Norðurlands fyrir Orkustofnun, OS-92017/VOD-03, 46 bls.

VIÐAUKI

Sviðsmyndir

Sviðsmyndir

Orkunotkun núverandi stóriðju og hins almenna markaðar (forgangsorka) var 4141 GWh/a 1994. Orkugeta virkjana á sama tíma var samtals 4980 GWh/a; 4711 í vatnsorkuverum og 269 GWh/a í jarðgufuvirkjunum. Í öllum tilvikum þróast hinn almenni raforkumarkaður eins og gert er ráð fyrir í síðustu raforkuspá, frá 1992, með árlega aukningu um 40-60 GWh/a.

Í Sviðsmynd 1 er gert ráð fyrir stækkun Ísal og nýrri Zinkverksmiðju á næstu árum, uppbyggingu áliðnaðar um og upp úr aldamótum eins og verið hefur til umræðu á undangengnum árum, útflutningi um sæstreng sem hæfist á fyrsta áratug næstu aldar, auk þriðja álversins og minna iðjuvers.

Sviðsmynd 1		
Markaður	Ár	Orkuþörf (GWh/a)
Alm. mark. + núv. stóriðja	1994	4141
Stækkun Ísal	1997	900
Zinkverksmiðja	1998	410
Álver 1	2000	2805
Álver 2	2003	2805
Strengur 1	2006	4765
Lítið iðjuver 1	2008	350
Strengur 2	2010	4765
Lítið iðjuver 2	2011	350
Álver 3	2015	2805
Alm. markaður, viðbót	2015	1056
Orkuþörf samtals	2015	25150
Viðbótarorkuþörf	2015	21000

Á fyrstu árunum er Sviðsmynd 2 eins og sú fyrsta, en í stað útflutnings um sæstreng er gert ráð fyrir meiri uppbyggingu í áliðnaði og öðrum mun minni iðjuverum síðar.

Sviðsmynd 2		
Markaður	Ár	Orkuþörf (GWh/a)
Alm. mark. + núv. stóriðja	1994	4141
Stækkun Ísal	1997	900
Zinkverksmiðja	1998	410
Álver 1	2000	2805
Álver 2	2003	2805
Álver 3	2006	2805
Lítið iðjuver 1	2008	350
Álver 4	2010	2805
Lítið iðjuver 2	2011	350
Álver 5	2015	2805
Alm. markaður, viðbót	2015	1056
Orkuþörf samtals	2015	21230
Viðbótarorkuþörf	2015	17100

Sameiginlegt sviðsmyndum 1 og 2 er raforkumarkaður sem einkennist af stórum markaðseiningum, sem byggðar verða upp nokkuð ört á tímabilinu 2000-2015. Í báðum tilfellum var stillt upp virkjunarröðum með og án Jökulsár á Fjöllum til að kanna áhrif þess að virkjun hennar yrði frestað til loka tímabilsins, eða fram yfir 2015.

Í Sviðsmynd 3 er auk stækkunar Ísal eingöngu gert ráð fyrir fremur smáum iðjuverum (samanborið við álver) annað hvert ár frá 1998.

Sviðsmynd 3		
Markaður	Ár	Orkuþörf (GWh/a)
Alm. mark. + núv. stóriðja	1994	4141
Stækkun Ísal	1997	900
Zinkverksmiðja	1998	410
Lítið iðjuver 2	2000	350
Lítið iðjuver 3	2002	350
Lítið iðjuver 4	2004	350
Lítið iðjuver 5	2006	350
Lítið iðjuver 6	2008	350
Lítið iðjuver 7	2010	350
Lítið iðjuver 8	2012	350
Lítið iðjuver 9	2014	350
Alm. markaður, viðbót	2015	1056
Orkuþörf samtals	2015	9300
Viðbótarorkuþörf	2015	5160

Í sviðsmynd 4 er á sama hátt og í sviðsmynd 3 gert ráð fyrir litlum iðjuverum, en þriðja hvert ár frá 1998, í stað annars hvers árs.

Sviðsmynd 4		
Markaður	Ár	Orkuþörf (GWh/a)
Alm. mark. + núv. stóriðja	1994	4141
Stækkun Ísal	1997	900
Zinkverksmiðja	1998	410
Lítið iðjuver 2	2001	350
Lítið iðjuver 3	2004	350
Lítið iðjuver 4	2007	350
Lítið iðjuver 5	2010	350
Lítið iðjuver 6	2013	350
Alm. markaður, viðbót	2015	1056
Orkuþörf samtals	2015	8250
Viðbótarorkuþörf	2015	4110

Í sviðsmynd 5 er byggt á sviðsmynd 4 en með þeirri viðbót að álver 1 og 2 verði byggð og komi inn á markaðinn eins og í sviðsmyndum 1 og 2.

Sviðsmynd 5		
Markaður	Ár	Orkuþörf (GWh/a)
Alm. mark. + núv. stóriðja	1994	4141
Stækkun Ísal	1997	900
Zinkverksmiðja	1998	410
Álver 1	2000	2805
Lítið iðjuver 2	2001	350
Álver 2	2003	2805
Lítið iðjuver 3	2004	350
Lítið iðjuver 4	2007	350
Lítið iðjuver 5	2010	350
Lítið iðjuver 6	2013	350
Alm. markaður	2015	1056
Orkuþörf samtals	2015	13860
Viðbótarorkuþörf	2015	9720