



ORKUSTOFNUN  
Vatnsorkudeild

Jón Ingimarsson  
Birgir Jónsson  
Davíð Egilson  
Freysteinn Sigurðsson

# UNDIRBÚNINGUR VATNSAFLSVIRKJANA

Markmið og framkvæmd

OS82075/VOD12

Reykjavík, ágúst 1982



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Jón Ingimarsson**  
**Birgir Jónsson**  
**Davíð Egilson**  
**Freysteinn Sigurðsson**

# **UNDIRBÚNINGUR VATNSAFLSVIRKJANA**

**Markmið og framkvæmd**

**OS82075/VOD12**  
Reykjavík, ágúst 1982

## ÁGRIP

Í skýrslunni er fjallað um undirbúning vatnsaflsvirkjana (þ.e. rannsóknir, áætlanir og hönnun). Kynnt eru markmið og framkvæmd einstakra þátta í undirbúningnum og gerð grein fyrir samspili rannsókna, áætlana, hönnunar og ákvarðana. Sett er fram tillaga um flokkun virkjana eftir orkumætti. Gerð er grein fyrir áfangaskiptingu virkjunarrannsókna; hversu langan tíma hvert undirbúningsstig tekur, þ.e. forathugun, forhönnun, verkhönnun, útboðs- og byggingarstig, og einnig hvernig kostnaður vex eftir því sem nær dregur byggingu virkjunar samfara minnkandi óvissu í áætluðum stofnkostnaði og orkumætti. Fjallað er um rannsóknir; grunn-, forhönnunar- og verkhönnunarrannsóknir, og rannsóknir vegna útboðs, byggingar og reksturs virkjana. Gerð er stutt grein fyrir hvað felst í einstökum rannsóknnum og tilgangi þeirra. Kynntur er tilgangur verkfræðiáætlana; forathugun, forhönnun, verkhönnun og útboðslýsing, og hvað í þeim felst. Loks er gerð grein fyrir mikilvægi samræmdrar áætlunar til langs tíma um undirbúning vatnsaflsvirkjana og nauðsyn þess að marka samskiptum milli Orkustofnunar, orkufyrirtækjanna og Iðnaðarráðuneytis ákveðinn farveg.

## FORMÁLI

Á fundi framkvæmdastjórnar Vatnsorkudeildar 16. nóvember 1981 var skipaður vinnuhópur um skipulag virkjunarrannsókna. Í hópinu voru tilnefndir: Jón Ingimarsson, Birgir Jónsson, Davíð Egilson og Freysteinn Sigurðsson. Hlutverk hópsins var að gera tillögur um skipulag undirbúnings vatnsaflsvirkjana (þ.e. rannsóknir, áætlanagerð og hönnun); kynna markmið og framkvæmd einstakra þátta í undirbúningnum og gera grein fyrir samspili rannsókna, áætlana, hönnunar og ákvarðana.

Orkumál skipa sífellt stærri sess í umræðum um þjóðmál. Ástæður fyrir því eru einkum síhækkandi verð á olíuvörum og að almennt er talið að nýting orkulindanna í þágu iðnaðar verði að standa undir mestum hluta hagvaxtar hér á landi á næstu árum. Þessari skýrslu er ætlað að stuðla að markvissari umræðum um frekari beislun vatnsaflsins, t.d. hvernig þjóðfélagslega hagkvæmast sé að undirbúa virkjanir og hversu langan tíma þurfi að ætla til rannsókna og hönnunarvinnu. Ennfremur er skýrslunni ætlað að vera til hliðsjónar við gerð langtímaáætlana um undirbúning vatnsaflsvirkjana bæði innan Orkustofnunar og utan.

Við gerð skýrslunnar hefur verið leitað í smíðju ýmissa aðila sem hafa látið skipulag undirbúnings vatnsaflsvirkjana til sín taka. Ennfremur hafa fjölmargir aðilar, utan Orkustofnunar sem innan, lesið drög að skýrslunni og bent á hvað betur mátti fara. Eru þeim færðar bestu þakkir.

f.h. Vatnsorkudeildar,

Haukur Tómasson  
Haukur Tómasson, forstjóri

**EFNISYFIRLIT**

	BLS.
ÁGRIP .....	2
FORMÁLI .....	3
EFNISYFIRLIT .....	5
TÖFLU- OG MYNDASKRÁ .....	5
1 INNGANGUR .....	7
2 ÁFANGASKIPTING RANNSÓKNA .....	8
3 TENGL RANNSÓKNA, VERKFRÆÐIÁÆTLANA OG ÁKVARÐANA .....	15
4 RANNSÓKNARSTIG .....	17
5 VERKFRÆÐIÁÆTLANIR .....	23
6 VIRKJUN VATNSAFLS OG RANNSÓKNARHRÆÐI .....	26
HEIMILDARSKRÁ .....	30

**TÖFLUSKRÁ**

TAFLA 1a: Helstu einingar .....	11
TAFLA 1b: Magnforskeyti .....	11
TAFLA 2: Flokkun virkjana eftir orkumætti .....	11

**MYNDASKRÁ**

1 Áfangaskipting virkjunarrannsóknna .....	13
2 Verkbættir virkjunarrannsóknna .....	19
3 Hagkvæmt vatnsafl á Íslandi .....	27

## 1 INNGANGUR

Skýrsla þessi er ætluð leikum sem lærðum er þátt taka í undirbúningi og ákvörðunum um virkjunarframkvæmdir. Henni er ætlað að vera framlag til markvissari vinnubragða við undirbúning vatnsaflsvirkjana innan Orkustofnunar sem utan.

Í kafla 2 er fjallað um áfangaskiptingu í undirbúningi vatnsaflsvirkjana. Áfangaskiptingin miðar að því að gera undirbúninginn markvissan og sem ódýrastan. Þannig er í fyrsta áfanga, grunnrannsóknastigi, safnað saman ýmsum grundvallarupplýsingum oft um heil vatnasvið, s.s. um fallhæð, rennsli og jarðgerð. Í síðari áföngum er farið í saumana á minni svæðum, s.s. sérstakar athuganir á líklegum veituleiðum og stíflustæðum. Í lok hvers stigs er tekin ákvörðun um hvort ráðist skuli í næsta stig eða hvort hugmyndin skuli lögð til hliðar um sinn eða hafnað alfarið. Kostnaður við undirbúninginn vex stig af stigi samfara minnkandi óvissu í kostnaði við byggingarframkvæmdir. Í kafla 2 er einnig sett fram tillaga um flokkun virkjana eftir stærð.

Í kafla 3 er gerð grein fyrir sambættingu rannsókna, verkfræðiáætlana og ákvarðana. Lagt er til að skipuð verði samstarfsnefnd um undirbúning vatnsaflsvirkjana, með setu þeirra aðila sem þátt taka í undirbúningnum.

Í 4. og 5. kafla er fjallað um rannsóknir og verkfræðiáætlanir við undirbúning vatnsaflsvirkjana. Gerð er grein fyrir tilgangi rannsókna og áætlana á hverju undirbúningsstigi og hvað í þeim felst.

Í 6. kafla er gerð grein fyrir þörf á áætlunum til langs tíma í undirbúningi vatnsaflsvirkjana til að stuðla að því að vaxandi orkuþörf verði mætt á sem hagkvæmastan hátt fyrir þjóðfélagið. Jafnframt er vakin athygli á að þótt vatnsafl sé mikið hér á landi á hvern einstakling þá er nýtanlegt vatnsafl fremur lítið samanborið við ýmis önnur ríki, svo sem Zaire.

## 2 ÁFANGASKIPTING RANNSÓKNA

Að meðaltali hefur raforkunotkun vaxið um rúm 6 % á ári hér á landi að undanfögnu og því er spáð að næstu ár muni hún vaxa um 120-140 GWh (Gígawattstundir) á hverju ári (sjá Orkuspá 1982-2000). Tafla 1a sýnir helstu einingar sem notaðar eru varðandi raforku og tafla 1b magnforskeyti. Raforka er margfeldi rafafls (t.d. í kW) og þess tíma sem það er notað (klst.). Notkun rafafls er mjög breytileg og kemur það fram sem daglegar, vikulegar og árstíðabundnar sveiflur. Til að mæta slíkum sveiflum er vatni miðlað milli árstíða. Raforkukerfið þarf að hafa nægilegt afl til að ráða við tímabundna álagstoppa sem aðeins koma hluta úr degi á kaldasta og dimmasta tíma ársins. Á öðrum tímum er einungis hluti afslsins nýttur eða að meðaltali aðeins 57%, en það samsvarar því sem nefnt er 5000 nýtingarstundir á ári (af 8.760 klst. í árinu.) Afl sem samsvarar 120 GWh (120 milljón kWh) orku er því 120 milljón kWh deilt með 5000 klst. eða 24.000 kW sem er 24 MW. Aflþörf hins almenna raforkumarkaðar vex þar af leiðandi um 24 MW á ári. Komi til nýs orkufreks iðnaðar eykst raforkuþörfin enn meir. Ákvörðun um það er þó tekin af stjórnvöldum á hverjum tíma. Hin síðari ár hefur verið reynt að hafa jafnan nokkrar virkjanir á því stigi rannsóknar að hægt væri að taka ákvörðun um byggingu nýrrar virkjunar með skömmum fyrirvara. Þetta er nauðsynlegt m.a. til að hægt sé að mæta breyttum viðhorfum til raforkusölu.

Þeir virkjunarkostir sem völ er á eru mjög mismunandi að stærð. Val á því hvaða kostur er heppilegastur fer að mestu eftir hvers konar markaður er fyrir hendi. Stóriðja kallar yfirleitt á stórvirkjun. Tafla 2 sýnir flokkun, byggða á stærð virkjana. Í töflunni kemur fram að meðalstórar virkjanir eru að jafnaði hentugastar fyrir hinn almenna raforkumarkað eins og hann er nú. Hún sýnir ennfremur hve varhugavert er að bera saman mismunandi virkjunarkosti án þess að taka fram stærð þeirra. Má sem dæmi nefna að flestar virkjanir á Vestfjörðum bæta rekstraröryggi þar en eru of smáar til að auka nokkru sem munar inn á landskerfið. Fljótsdalsvirkjun er á hinn bóginn sem stendur í stærsta lagi fyrir hinn almenna orkumarkað þ.e. án stórnotenda.

Yfirleitt fer kostnaður við framleiðslu á hverri orkueiningu (kr/kWh) minnkandi með aukinni stærð virkjunar, en lengri tími líður þar til orkumátturinn\* er fullnýttur og tekjur af raforkusölu fara að greiða niður kostnaðinn við virkjunina. Kostnaður við orkuframleiðslu og orkumarkaðurinn ráða því hagkvæmni virkjunarkosta á hverjum tíma.

Nýting vatnsafls byggir á einföldum forsendum, þ.e. fallhæð, vatnsrennsli og miðlun. Vatnsaflsstöðvarnar eru hins vegar yfirleitt flókin mannvirki sem krafjast dýrs og tímafreks undirbúnings. Auk þess veldur virkjun einatt röskun á umhverfi og oft deilum um eignarrétt.

Undirbúningur virkjana byggir á samþættingu áætlana, rannsókna og ákvarðana. Líkt og mynd 1 sýnir er þetta samfellt ferli þar sem hvert atriði leiðir að öðru. Þetta veldur því að ferlið svarar seint snögum breytingum og skyndiákvörðunum og þolir þar illa. Samfelld og skipuleg vinna er alla jafna affarasølust. Alls tekur rúmlega áratug að rannsaka virkjunarstað að því marki að hægt sé að bjóða út byggingu virkjunar.

Sökum þess hve mikil fjárfesting er fólgin í vatnsaflsvirkjunum geta minnstu mistök kostað samfélagið stórfé og afleiðingar þeirra geta raunar verið óbrotanlegar. Til að unnt sé að fyrirbyggja mistök verður rannsóknin að beinast að flestum þeim atriðum sem koma til með að skipta mannvirkið máli eins og nýtanlegri fallhæð, rennsli, veðurfari, eiginleikum jarðlaga og eignarréttarmálum, svo örfá atriði séu nefnd. Undirbúningurinn verður þeim mun dýrari er nær dregur byggingarstigi (sjá mynd 1). Af þeim sökum þarf að tryggja að þeir kostir séu rannsakaðir sem bæði eru hagkvæmir og heppilegastir út frá þjóðfélagslegu sjónarmiði. Annars er verið að sóa fjármunum og mannafla í undirbúning virkjunar sem ekki er tímabær og skilar ekki arði fyrr en löngu síðar, þegar byggingu hennar lýkur og raforkusala hefst.

Sérfræðingar á sviði vatnsorkuvirkjana hafa hin síðari ár gert sér far um að koma á staðlaðri áfangaskiptingu á rannsóknarferlinu (sjá heimildalista). Þar verður einum áfanga að vera lokið áður en annar, sem að

\* Hér verður orðið orkumáttur notað í stað orkuvinnslugetu ("generation capacity").



jafnaði er dýrari og viðameiri, tekur við. Það er gert til að ákvarðanir séu teknar á réttum tíma og verðmætum síður varpað á glæ. Eins og sést á mynd 1 eru rannsókn, áætlun, ákvörðun og virkjun óaðskiljanlegir þættir í undirbúningi virkjana. Fyrsta áætlunin er byggð á almennum gögnum. Hún er notuð til að finna hagkvæma virkjunarstaði. Ákvörðun byggð á rannsókn sker síðan úr því hvort einhverjir annmarkar eru á þessum frumhugmyndum. Slíkt leiðir yfirleitt til breyttra viðhorfa í næstu áætlun. Óvissa um framkvæmd og kostnað minnkar þannig stig af stigi í undirbúningnum, sbr. mynd 1.

Á síðari stigum ferlisins breytist áætlanagerðin yfir í hönnun sem er nákvæm útfærsla á tilhögun mannvirkja. Rannsóknin beinist þá að því að afla þeirra upplýsinga sem þarf fyrir þá tilteknu tilhögun.

Ákvörðun um hvaða staði skuli rannsaka er í upphafi tæknileg, þ.e. einungis er metið hverjir eru hagkvæmir. Á síðari stigum koma fleiri viðhorf við sögu, t.d. umhverfisvernd, byggðastefna, atvinnuuppbygging og afstaða til orkufreks iðnaðar. Lokaákvarðanir eru því af pólitískum toga og í höndum stjórnvalda.

Það er ekki einsdæmi að breytt viðhorf komi fram eftir að undirbúningur er kominn það langt að hægt væri að taka ákvörðun um byggingu virkjunar. Má nefna óskir um að færa til mannvirki vegna eignarréttarmála. Slíkt kallar yfirleitt á viðbótarrannsóknir. Nokkurn tíma getur tekið að afla þeirra gagna sem skera úr um hvort kosturinn sé enn hagkvæmur í þjóðfélagslegu tilliti. Tafir á undirbúningi eru því yfirleitt óhjákvæmilegar við slíkar breytingar.

TAFLA 1a Helstu einingar

Nafn	Skilgreining	Algeng eining
Afl	Kraftur x vegalengd/tími	MW
Orka	Afl x tími	GWh = 3.6 terajoule
Orkumáttur	Orka/ári	GWh/a

TAFLA 1b Magnforskeyti

k	kiló	10 <sup>3</sup>	1.000	þúsund
M	mega	10 <sup>6</sup>	1.000.000	milljón
G	giga	10 <sup>9</sup>	1.000.000.000	milljarður
T	tera	10 <sup>12</sup>	1.000.000.000.000	billjón
P	peta	10 <sup>15</sup>	1.000.000.000.000.000	billjarður

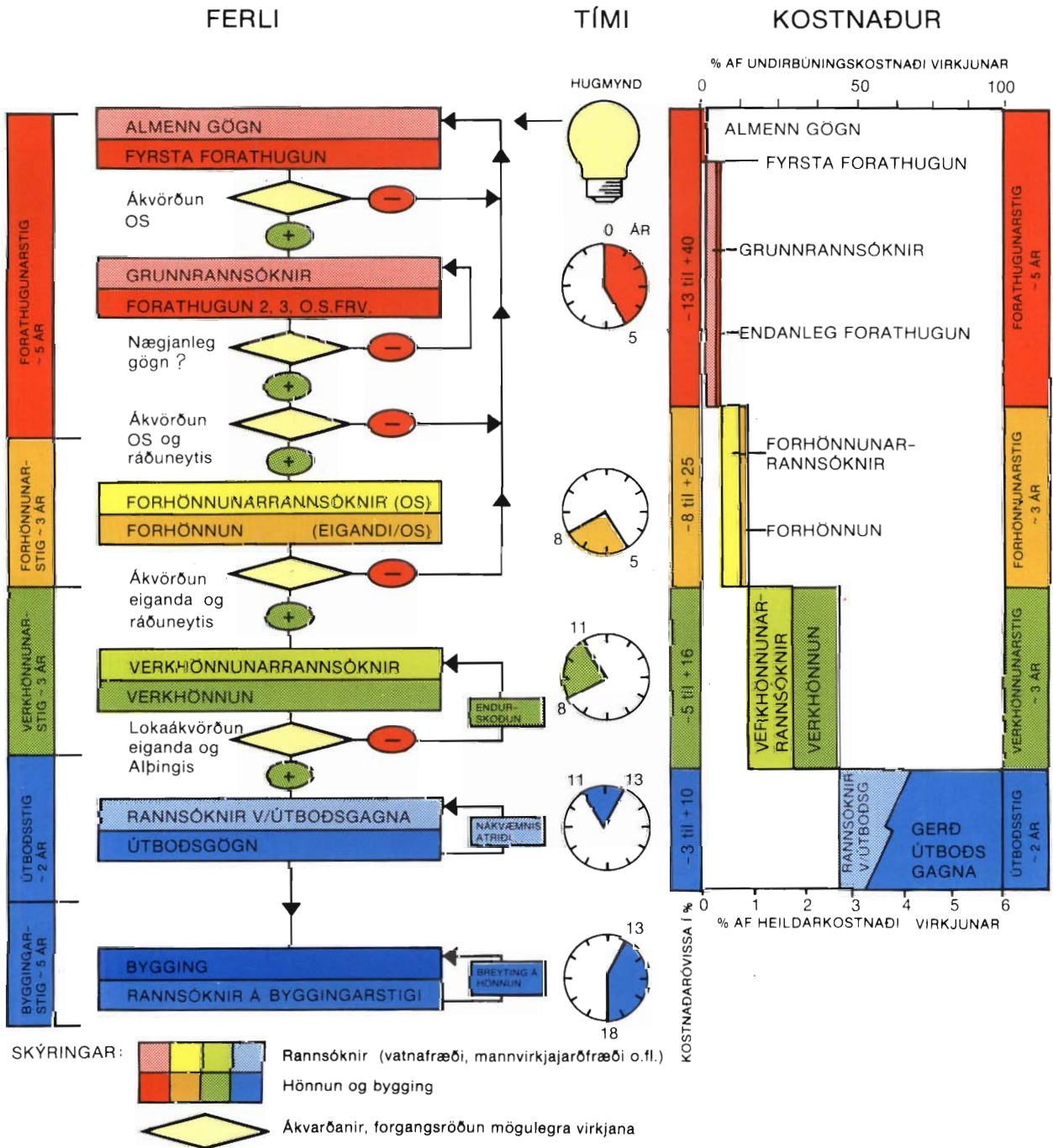
TAFLA 2 Flokkun virkjana eftir orkumætti

Stærð	Orkumáttur GWh/a	Afl MW	Hagkvæmust not	Deimi
Smáar	0 - 250	0 - 50	Til þess að auka rekstrarbryggi innan byggðarlags eða landshluta. Yfirleitt fremur dýrar virkjanir fyrir samtengt landskerfi	Lagarfoss (Villinganes)*
Meðalstórar	250 - 1000	50 - 200	Til að mæta vaxandi þörf hins almenna raforkumarkaðar. Ein slík á ca. 5 ára fresti fullnægir markaðnum. Þær minnstu eru full smáar fyrir stóriöju.	Hrauneyjafoss (Blanda Sultartangi)
Stórar	Meiri en 1000	Meira en 200	Til að mæta þörf stórneytanda, auk vaxandi þarfar hins almenna markaðar. Þær stærstu eru of stórar fyrir almennan markað án stóriöju.	Búrfell (Fljótsdalsvirkjun)

\*Í sviga eru nefndar virkjanir á undirbúningsstigi



# ÁFANGASKIPTING VIRKJUNARRANNSÓKNA



### 3 TENGSL RANNSÓKNA, VERKFRÆÐIÁETLANA OG ÁKVARDANA

Hugmyndir um hentugustu tilhögun virkjana og hönnun virkjunarmannvirkja eru byggðar á grundvelli þekkingar um viðkomandi vatnasvæði og virkjunarstaði. Þeirrar þekkingar þarf að mestu leyti að afla með viðeigandi rannsóknum. Hugmyndir um tilhögun virkjana eru því bæði margar og ónákvæmar meðan þekkingin er lítil, en verða bæði markvissari og nákvæmari eftir því sem rannsóknum vindur fram og þekkingin eykst. Rannsóknir beinast þannig frá upphafi að vali hentugustu tilhögunarvirkjunar og bestu hönnun hennar. Með þeim er samfelld aukið við þekkinguna en oft er beitt nýjum, og jafnframt dýrari, rannsóknaraðferðum á hverju rannsóknarstigi.

Hver verkfræðiáætlun um tilhögun virkjunar leysir hins vegar jafnan af næstu áætlun á undan. Fyrstu verkfræðiáætlanir (forathuganir), sem eru ónákvæmar, eru áfangar í leit að hentugustu virkjunartilhögun og beina því rannsóknum í vaxandi mæli að ákveðnum stöðum eða atriðum. Síðari verkfræðiáætlanir (forhönnun, verkhönnun, útboð) eru áfangar í átt að ákveðinni virkjunartilhögun. Rannsóknir beinast þá að öflun nauðsynlegrar viðbótarþekkingar fyrir hvern áfanga. Undirbúningur áætlana og forvinna að hönnun eru þá meira og minna í gangi samhliða rannsóknum. Náin samskipti rannsóknara (einkum jarð-, vatna- og verkfræðinga) og áætlenda (einkum verkfræðinga) eru því nauðsynleg, þegar hér er komið.

Rannsóknir verða jafnan dýrari með hverju stigi. Jafnframt styttest í, að hægt sé að taka ákvörðun um framkvæmd virkjunar. Það er því eðlilegt að við hvern áfanga skipti um forræði rannsóknanna þ.e. hver taki ákvörðun um framhald undirbúnings; frá rannsóknaraðila (Orkustofnun) til væntanlegs handhafa virkjunar (Landsvirkjun o.fl.) og stjórnvalda (ráðherra og Alþingis). Í samræmi við það hefur Orkustofnun frumkvæði að rannsóknum til loka forhönnunarrannsóknar, en væntanlegur eigandi eftir það, enda ber hann þá um leið kostnað af rannsóknunum.

Undirbúningur virkjana er samfelldur, og því nauðsynlegt að tryggð sé góð og náin samvinna milli rannsóknaraðila, stjórnvalda og handhafa virkjunar. Í því skyni mætti ætla að æskilegt væri að koma á fót samstarfsnefnd um undirbúning vatnsaflsvirkjana, þar sem ofangreindir

aðilar ættu fulltrúa. Hlutverk nefndarinnar væri að samhæfa áætlanir um undirbúning virkjana og hafa umsjón með gerð heildaráætlunar (mynsturáætlun) um nýtingu vatnsaflsins. Óformleg samvinna hefur verið milli ofangreindra aðila (verkefnisráð, hönnunarstjórn o.fl.) en nauðsynlegt er að marka samvinnunni ákveðinn farveg.

#### 4 RANNSÓKNARSTIG

Tilgangur virkjunarrannsókna er tvíþættur. Annars vegar að afla grundvallarupplýsinga um mögulega virkjunarstaði, svo sem um vatnsrennsli, fallhæð og jarðfræðilegar aðstæður sem ráða því hvort bygging virkjunar sé raunhæf. Hins vegar að finna hönnunarforsendur, sem virkjunaráætlanir byggjast á.

Eftir því sem rannsókn miðar áfram, minnkar óvissan í áætlanagerðinni, en rannsóknin verður um leið dýrari eins og áður var getið, sbr. mynd 1. Kostnaður við rannsókn hlýtur að verða metinn í ljósi hugsanlegs ávinnings af henni.

Áskilegt er að rannsókn virkjunarstaðar sé sem samfelldust á hverju rannsóknarstigi, en þyki aðrir kostir vænlegri getur rannsókn legið niðri um hríð að loknu hverju stigi. Upplýsingar, sem fram koma snemma á hverju rannsóknarstigi, geta hugsanlega valdið því að viðkomandi virkjunarstaður færist aftur í forgangsroðina og rannsókn því hætt um sinn eða endanlega.

Verkfræðiáætlanir, sem gerðar eru í lok hvers undirbúningsstigs, draga yfirleitt fram þau atriði sem rannsaka þarf betur.

Skipta má rannsóknnum í eftirfarandi stig (sjá mynd 1):

<u>Könnun á almennum gögnum,</u>	að því loknu:	<u>Fyrsta forathugun</u>
<u>Grunnrannsóknir,</u>	" " "	<u>Endanleg forathugun</u>
<u>Forhönnunarrannsóknir,</u>	" " "	<u>Forhönnun</u>
<u>Verkhönnunarrannsóknir,</u>	" " "	<u>Verkhönnun</u>
<u>Rannsóknir v/útboðsgerðar,</u>	" " "	<u>Útboðsgögn</u>
<u>Rannsóknir á byggingarstigi,</u>		
<u>Rannsóknir á rekstrarstigi</u>		

Á mynd 2 er sýnt að hvaða þáttum er unnið að á hverju rannsóknarstigi.

Almenn gögn eru m.a. landakort í mælikvarða 1:50.000 með 20 m hæðarlínum, vatnamælingar í viðkomandi á eða nálægum ám, veðurfarsgögn, yfirlitsjarðfræðikort o.fl. Á grundvelli þessara gagna má meta hvar möguleiki sé á það hagkvæmu vatnsafla, að það gefi tilefni til sérstakrar rannsóknar. Á þessum almennu gögnum er byggð mjög lausleg kostnaðaráætlun, svokölluð fyrsta forathugun.

Grunnrannsókn beinist að því að finna grundvallarforsendur virkjunar, þ.e. fallhæð, rennsli og líkur á því að virkjun sé framkvæmanleg fyrir raunhæft verð. Grunnrannsókn hefst að lokinni fyrstu forathugun telji Orkustofnun, eftir umfjöllun í samstarfsnefnd um undirbúning vatnsaflsvirkjana, þarna vera um góða möguleika að ræða. Hún beinist að verulegum hluta vatnasviðs, heilu vatnasviði eða fleiri en einu vatnsviði. Þau atriði sem mikilvægust eru í grunnrannsókn eru m.a. vatnamælingar, landmæling og kortagerð í mælikvarða 1:20.000 með 5 m hæðarlínunum, gerð yfirlitskorta, umhverfisrannsóknir o.fl. Að lokinni grunnrannsókn er gerð endanleg forathugun.

Forhönnunarrannsóknir beinast að einstökum virkjunarstöðum með það fyrir augum að hægt sé að velja nokkurn veginn endanlega tilhögun virkjunar til forhönnunar. Þessi rannsókn hefst ekki fyrr en ákvörðun hefur verið tekin um það af Orkustofnun í samráði við Iðnaðarráðuneyti og samstarfsnefnd um undirbúning vatnsaflsvirkjana eftir samanburð við aðra kosti á sama stigi. Á þessu stigi þarf að vinna að landmælingum og kortagerð í mælikvarða 1:5.000 með 1 m hæðarlínunum á völdum stöðum. Einnig þarf nákvæmar vatnamælingar, vatnasviðsgreiningu og grunnvatns-mælingar. Mikilvægt er að rannsaka þykkt og eðli lausra jarðlaga, kanna byggingarefni, lagskiptingu bergs og tæknilega eiginleika þess. Umhverfiskönnun og ýmsar rannsóknir tengdar henni þurfa að fara fram, og álitagerð frá Náttúruverndarráði þarf að liggja fyrir. Einnig þarf að kanna ýmis félagsleg atriði, svo unnt sé að hefja samninga um land- og vatnsréttindi. Mjög æskilegt er að ljúka þeim samningum í lok þessa stigs, en að því loknu fer fram forhönnun. Hér er eðlilegt að frumkvæði Orkustofnunar í virkjunarrannsóknum ljúki.

Verkhönnunarrannsóknir beinast að endanlegri tilhögun virkjunar. Þær hefjast eftir að ákvörðun um það hefur verið tekin af væntanlegum eiganda virkjunar í samráði við Iðnaðarráðuneytið og samstarfsnefnd um undirbúning vatnsaflsvirkjana. Rannsóknir á þessu stigi eru mun dýrari en á næsta stigi á undan. Þess vegna er mikilvægt að forhönnunin hafi leitt til nokkurn veginn endanlegrar virkjunarhugmyndar. Upplýsingar sem fram koma á verkhönnunarstigi geta valdið því að til álitu komi að breyta tilhögun virkjunar, sem þá þyrfti að bera saman við aðra forhannaða virkjunarkosti. Verkhönnunarrannsókn felur í sér framhald



Vatnsfall:
Virkjun:
Tilhögun:

## VERKÞÆTTIR VIRKJUNARRANNSÓKNA

FÖG	VERKÞÆTTIR	ALMENN GÖGN	GRUNN- RANNSÓKNIR	FORHÖNNUNAR- RANNSÓKNIR	VERKHÖNN.- RANNSÓKNIR	ÚTBODS- RANNS.	BYGG- RANNS.	REKST- RANNS.	
LANDMÆLINGAR	Kort 1: 50 000								
	Landmæling 1: 20 000								
	Kort 1: 20 000								
	Landmæling 1: 5 000								
	Kort 1: 5 000								
	Mælinet f. útboð								
	Sérmælingar								
VATNAMÆLINGAR	Vatnam.- landskerfi								
	Sírtar á virkjunarstöðum								
	Rennslismælingar — " —								
	Ísavandamál								
	Veðurfarsgögn								
	Veðurathuganir								
	Íssjarmælingar								
VATNAFRÆÐI	Vatnasviðsgreining								
	Grunnvatnsmælingar								
	Rennslislíkön								
	Dæluþrófanir								
	Grunnvatnslíkön								
	Straumlíkön								
	Atriðakönnun								
JARÐFRÆÐI	Aurburður								
	Jarðfræðikönnun								
	Byggingaræfniskönnun								
	Atriðakönnun								
UMHVERFI	Umhverfiskönnun								
	Náttúruvernd								
	Landeign								
	Atriðakönnun								
MANNVIRKJA-JARÐFR.	Jarðeðlisfræði								
	Jarðgrunnsboranir								
	Kjarnaboranir								
	Lektarpróf								
	Lausefnapróf								
	Berggæðamat								
	Bergspennumælingar								
Atriðakönnun									
JARÐTEKNI	Vinnsluþrófun								
	Stífluefnispróf á vettvangi								
	Steypuþróf								
	Könnunarjarðgöng								
	Atriðakönnun								
ÝMISLEGT	Orkuvinnslureikningar								
	Vettvangskönnun								
	Línustæðisathugun								
	Atriðakönnun								
	Slóða- og vegagerð								
	HÖNNUN, FORVINNA								

Skygðu reitirnir sýna á hvaða rannsóknarstigum er unnið að hinum einstöku verkþáttum. Reitir skygður til hálfs tákna að þörf gæti verið að vinna við þann verkþátt á því stigi.



allra þeirra verkþátta, sem ekki var lokið við í forhönnunarrannsókn og er þeim haldið áfram þar til hönnunarforsendur teljast fundnar. Þyngst vegur hér venjulega mjög ýtarleg jarðfræðirannsókn með borunum ásamt rannsókn á tæknilegum eiginleikum bergs og lausra jarðlaga. Hér á landi er þetta yfirleitt langdýrasti þáttur virkjunarrannsókna. Jafnframt þarf að kanna efnisnámur. Hefja þarf vinnsluprófanir í væntanlegum efnisnámunum ef vafi leikur á vinnsluhæfni jarðefna. Ljúka þarf gerð landakorta í mælikvarða 1:5.000 af öllum mannvirkjasvæðum. Fjölga þarf vatnshæðarmælum í lengri eða skemmri tíma, auk þess sem rennslismælingar til samanburðar þurfa að fara fram víða á vatnasviðinu. Ljúka þarf rannsókn á umhverfisáhrifum fyrirhugaðar virkjunar. Samningum við landeigendur verður að vera lokið á þessu stigi, en þarf helst að vera lokið við forhönnun. Að loknu þessu stigi fer fram verkhönnun, en finna þarf lausn á öllum stærri tæknilegum vandmálum varðandi virkjunarstaðinn áður en verkhönnun lýkur. Við lok verkhönnunar eða snemma á útboðsstigi þarf að gera straumlíkön af ýmsum hlutum virkjunarinnar. Rannsóknum verður ekki haldið áfram fyrr en ákvörðun Alþingis um að hefja framkvæmdir við viðkomandi virkjun liggur fyrir.

Rannsóknir v/útboðsgagna hefjast að frumkvæði væntanlegs eiganda eftir að Alþingi hefur tekið ákvörðun um byggingu virkjunarinnar. Gerð útboðsgagna krefst yfirleitt nákvæmari upplýsinga um viss atriði. Þessi atriði varða aðallega mannvirkjajarðfræði og jarðtækni í sambandi við nákvæma staðsetningu mannvirkjanna, í þeim tilgangi að útboðsforsendur og kostnaðaráætlunir séu eins réttar og unnt er. Viðbótarupplýsingar sem fram koma á útboðsstigi geta valdið minniháttar breytingum á þeirri tilhögun sem ákveðin hafði verið. Á þessu stigi verður að ljúka ýtarlegum vinnsluprófunum á væntanlegum jarðefnanámum og á mannvirkjastöðum. Einnig getur þurft að gera tilraunafyllingu úr jarðefnum og könnunarjarðgöng. Þessu stigi lýkur með gerð útboðsgagna og síðan útboði.

Rannsóknir á byggingartíma felast aðallega í því að fylgjast vel með grunnvatnsástandi og kortleggja laus jarðlög og berg í nýjum opnum á mannvirkjastöðum t.d. stíflustæðum, skurðleiðum, stöðvarhúsgrunnum, jarðgöngum og öðrum neðanjarðarhvelvingum ásamt efnisnámunum í lausum

jarðlögum og bergi. Þessar upplýsingar þarf að bera saman við þær aðstæður sem gert hafði verið ráð fyrir í ljósi undanfarandi rannsókna og útboðslýsingin byggði á. Við þetta fæst mjög mikilvæg reynsla, sem nýtist við rannsóknir á öðrum virkjunarstöðum, sem styttra eru komnir í undirbúningi, og leiðir til meira öryggis í túlkun rannsóknargagna og endurbættra hönnunarforsendna fyrir önnur mannvirki í samskonar jarðmyndunum. Komi eitthvað óvænt í ljós eiga þessar rannsóknir að hjálpa til við að breyta hönnun, sé þess þörf, og vara við sé um hættuástand að ræða.

Rannsóknir á rekstrarstigi tengjast aðallega vatnafræði og ýmsum umhverfisatriðum. Hér er oft um að ræða leka, rennsli, breytingu á aurburði og líffræði vatnakerfis þess, sem virkjað hefur verið.

## 5 VERKFRÆÐIÁÆTLANIR

Verkfræðilega vinnu við mat á virkjanakostum má greina í ráðgjöf í tengslum við rannsóknir og verkfræðiáætlanir. Ráðgjöf og rannsóknir fylgjast að en við ákveðna áfanga er gerð heildarúttekt á áætlaðri virkjunartilhögun, svokallaðar verkfræðiáætlanir. Í verkfræðiáætlunum er orkumáttur virkjana metin, sem og stofn- og rekstrarkostnaður. Áætlanir eru grundvöllur ákvörðunar um framhald rannsókna og virkjunar, og eru þær yfirleitt felldar inn í mynsturáætlun viðkomandi vatnasviðs, þar sem metið er á hvern hátt er unnt að nýta vatnsaflíð á vatnasviðinu á sem hagkvæmastan hátt. Óvissan í áætlun byggingarkostnaðar er mest við fyrstu áætlanir. Engar reynslutölur eru til um óvissuna en sett hefur verið fram tilgáta um hana sem getið er í eftirfarandi upptalningu (sjá bréf Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen hf. til Landsvirkjunar 1980 01.15). Áherslur og markmið verkfræðiáætlana (sjá myndir 1 og 2), eru breytileg en í grófum dráttum má segja að í þeim felist:

Fyrri forathuganir; mjög einfalt mat á virkjunarhugmynd. Áherslur í grunnrannsókn byggja á forathugunum.

Endanleg forathugun; einfalt mat á virkjunarkostum á ákveðnu svæði. Forgangsröðun í forhönnunarrannsókn byggir á þessu mati. Líkleg óvissa -13 til +40% af áætluðum byggingarkostnaði.

Forhönnun; mat á hagkvæmni virkjunar. Forgangsröðun í verkhönnunarrannsókn byggir á þessu mati. Líkleg óvissa -8 til +25% af áætluðum byggingarkostnaði.

Verkhönnun; mat á hagkvæmni virkjunar. Ákvörðun um virkjunarframkvæmdir byggir á hagkvæmismatinu. Líkleg óvissa -5 til 16% af áætluðum byggingarkostnaði.

Útboðslýsing; hönnun einstakra hluta virkjunar. Gerð vegna útboðs einstakra hluta virkjunar. Líkleg óvissa -3 til +10% af áætluðum byggingarkostnaði.

Fyrri forathuganir eru lauslegar verkfræðilegar athuganir á virkjunarkostum ákveðins svæðis eða vatnasviðs. Stofnkostnaður og orkumáttur eru áætluð. Athuganir eru að jafnaði gerðar af Orkustofnun. Tilgangur fyrri forathugana er að meta virkjunarkosti út frá almennum gögnum og stöðu grunnrannsókna á hverjum tíma.

Endanleg forathugun er verkfræðileg athugun þar sem notaðar eru einfaldar aðferðir við mat á virkjunarkostum. Athugunin felur í sér lauslegt mat á stofnkostnaði og orkumætti. Athugunin er að jafnaði gerð af Orkustofnun. Tilgangur endanlegrar forathugunar er að bera saman mismunandi nýtingu landsvæðis og vatnasviðs til orkuvinnslu. Til að unnt sé að ljúka forathugun þarf að vera búið að ljúka grunnrannsóknnum.

Að forathugun lokinni er gerð mynsturáætlun sem er heildaráætlun fyrir virkjanir á viðkomandi vatnasviði. Jafnframt eru virkjanakostir svæðisins bornir saman við virkjunarkosti annarra svæða og forgangsröð virkjana til forhönnunarránnsóknna ákveðin af Orkustofnun og Iðnaðar-ráðuneyti, eftir umfjöllun í samstarfsnefnd um undirbúning vatnsafls-virkjana á grundvelli fjárveitinga á fjárlögum.

Forhönnun er verkfræðileg hönnun ákveðinnar virkjunartilhögunar. Í áætluninni er yfirleitt borinn saman stofnkostnaður við mismunandi tilhögun hverrar virkjunar. Tilgangur forhönnunar er að kanna með verulegu öryggi hvort virkjun er tæknilega framkvæmanleg og hagkvæm. Einnig er fundin heppilegasta virkjunartilhögun til áframhaldandi rannsóknna og hönnunar og reiknaður væntanlegur stofnkostnaður og orkumáttur. Til að unnt sé að forhanna virkjun, þarf forhönnunarrannsóknnum að vera lokið.

Að forhönnun lokinni er gerð eftirlíking á rekstri þess veitukerfis sem virkjunin tengist, þ.e. reiknaður orkumáttur kerfisins miðað við væntanlegan markað samkvæmt orkusþá, með og án þeirrar virkjunar sem til athugunar er. Orkumáttur hennar er skilgreindur sem mismunurinn þarna á milli. Virkjunin er loks borin saman við aðrar virkjunarhugmyndir, sem lokið er forhönnun á og forgangsröð til verkhönnunarrannsóknar ákveðin. Ákvörðunin um forgangsröð er tekin af ráðuneyti og væntanlegum eiganda að undangenginni umfjöllun í samstarfsnefnd um undirbúning vatnsaflsvirkjana. Við forhönnun er eðlilegt að frumkvæðið ferist frá Orkustofnun til væntanlegs eiganda.

Verkhönnun er verkfræðileg hönnun ákveðinnar virkjunartilhögunar. Hönnunin felur í sér mat á hvort virkjunartilhögun sé raunhæf og nákvæmt mat á stofnkostnaði og orkumætti. Tilgangur verkhönnunar er að ákvarða líklegan stofnkostnað og orkumátt hagkvæmustu virkjunartilhögunar þannig að unnt sé að taka ákvörðun um byggingu virkjunar og

tímasetningu. Til að verkhönnun virkjunar geti farið fram, þarf verkhönnunarrannsóknun að vera lokið. Við verkhönnun er gerð eftirlíking á rekstri þess veitukerfis sem virkjunin myndi tengjast. Hagkvæmni virkjunar er borin saman við aðrar virkjanir, þar sem verkhönnun er lokið, og röð á virkjunarframkvæmdum ákveðin.

Ákvörðun um virkjunarframkvæmdir er í höndum Alþingis, samkvæmt tillögum Iðnaðarráðuneytis, eiganda virkjunar, Orkustofnunar og samstarfsnefndar um undirbúning vatnsaflsvirkjana.

Útboðslýsing er gerð útboðsgagna og hluta vinnuteikninga við endanlega hönnun. Tilgangur er að gera útboð og byggingarframkvæmdir mögulegar og tímasetja einstaka þætti byggingarframkvæmda. Til að útboðslýsing geti farið fram þarf útboðsrannsókn að vera lokið. Í framhaldi af útboðslýsingu eru einstakir verkþættir boðnir út. Á grundvelli útboðs eru gerðir samningar við verktaka og byggingarframkvæmdir geta hafist.

Fyrir kemur að hugmyndir um nýtingu fallvatns á sama svæði stangist á. Bygging virkjunar getur því leitt til þess að hugmyndir um aðrar virkjanir færast, t.d. af verkhönnunarstigi á forhönnunarstig að nýju. Rannsóknir vegna slíkra kosta eru fámist í höndum Orkustofnunar eða virkjunaraðila.

## 6 VIRKJUN VATNSAFLS OG RANNSÓKNARHRADI

Hraði rannsókna tekur mið af ákveðnum forsendum þ.e. spám um raforkuþörf landsmanna. Orkuspárnefnd hefur áætlað að á árabílinu 1980-2000 vaxi raforkunotkun landsmanna að meðaltali um 140-325 GWh á ári, eða 2800-6500 GWh samtals. Lægri talan miðar við almenna orkuþörf eina sér en sú hærri við vissa aukningu orkufreks iðnaðar. Samkvæmt nýju mati (sjá mynd 3) virðist vatnsafl hér á landi, sem talið er hagkvæmast að virkja, samsvara um 33.000 GWh/ári. Þegar hafa 4000 GWh/ári verið nýttar. Myndin sýnir einnig stöðu rannsókna á hagkvæmasta vatnsaflinu og áætlaðan kostnað við að ljúka undirbúningi þeirra. Eins og fram kom í inngangi framleiðir meðalstór virkjun orku sem nemur 250-1000 GWh/ári. Samkvæmt því þarf að bæta við a.m.k. fjórum meðalstörum virkjunum á næstu tveim áratugum, sé einungis miðað við almennan markað. Komi til aukins orkufreks iðnaðar eykst virkjunarþörfin í samræmi við orkuþörf hans. Slíkt er háð ákvörðunum stjórnvalda á hverjum tíma.

Í kafla 2 kom fram að umfang og kostnaður vegna undirbúnings virkjunar vex eftir því sem nær dregur byggingarstigi. Til dæmis má benda á að við lok forhönnunar er um helmingur undirbúnings- og byggingartímans liðinn en aðeins hefur verið varið sjöunda hluta heildarkostnaðar við rannsókn og hönnun virkjunar (sjá mynd 1). Það er dýrt, mjög áhættusamt og aðeins að litlu leyti unnt að reyna að "kaupa sér tíma" og hlaupa yfir rannsóknarstig. Samhliða vaxandi umfangi beinist rannsóknin að afmarkaðra svæði við hvert rannsóknarstig.

Þegar hefja skal nýjan áfanga, rannsóknarstig eða byggingu virkjunar, þarf að vera hægt að velja úr einhverjum kostum. Eigi t.d. að velja virkjun til verkhönnunarrannsókna, verða að vera fyrir hendi nokkrir forhannaðir virkjunarkostir og þannig stig af stigi. Þar eð hvert stig tekur nokkur ár þá verður að athuga þessar rannsóknir allar til nokkuð langs tíma í senn. Upphaf grunnrannsókna verður að taka mið af því hversu mikið þarf að virkja næstum tveim áratugum seinna og þá með tilliti til þess að úr nægum kostum verði að velja í upphafi hvers stigs þangað til. Rannsóknaráætlun til aldamóta gæti spannað ferli einnar virkjunar frá upphafi grunnrannsókna þar til virkjunin er fullbyggð og orkuframleiðsla hefst. Sem stendur er unnið að gerð langtímaáætlunar um vatnsaflsrannsóknir fram til aldamóta á vegum Vatnsorkudeildar Orkustofnunar. Eins og áður segir fer hraði rannsókna eftir



## VATNSORKA Á ÍSLANDI

	GWh / a
TÆKNILEGA VIRKJANLEGT	64.000
TALIÐ HAGKVÆMT AÐ VIRKJA	40 - 50.000
ÞAR AF HAGKVÆMESTA VATNSAFLIÐ	33.000
ÞEGAR VIRKJAÐ	4.000
VIRKJAÐ NÆSTU 30-60 ÁR	29.000

## STAÐA RANNSÓKNA Á HAGKVÆMUSTU VATNSORKU ÍSLANDS

Óvirkjað af hagkvæmasta vatnsaflinu	UNDIRBÚNINGSKOSTNAÐUR →			
	1%	~ 5%	~ 15%	~ 45%
GWh / a	GRUNN- RANNSÓKNIR	FORHÖNNUNAR- RANNSÓKNIR	VERKHÖNNUNAR- RANNSÓKNIR	
17.000				
7.000				
1.000				
4.000				
Σ 29.000	100 Mkr.	500 Mkr.	1.500 Mkr.	
Áætlaður kostnaður í Mkr. til að ljúka hverju undirbúningsstigi. Byggingarvísitala í des. 1981.			Alls:	2.100 Mkr.

Við fyrstu sýn virðist vera ósamræmi milli hlutfalla kostnaðar á mismunandi rannsókn-  
arstigum (sjá hundraðshluta í efstu línu) og áætlaðs kostnaðar við að ljúka rannsókn  
á þessum stigum (sjá samtölur í neðstu línu). Þetta byggist á því, að þegar hefur  
verið töluvert rannsakað á hinum ýmsu stigum, einkum þeim fyrri.

áætlaðri raforkubörf landsmanna hverju sinni og ræðst mikið af uppbyggingu orkufreks iðnaðar (sjá efri mörk áætlaðrar orkuþarfar hér að framan). Ljóst er að vatnsafllandsins verður vart virkjað til fulls á næstu áratugum, enda þótt til komi veruleg uppbygging orkufreks iðnaðar. Virkjað afl kann líka að vera til ráðstöfunar að nýju, þegar iðnfyrirtæki ganga úr sér, eða eru lögð niður af öðrum ástæðum. Hinu má samt ekki gleyma, þó vatnsafl sé mikið hér á landi á nef hvert, að hvorki er það óþrjótandi né erum við eitthvert stórveldi á sviði vatnsaflsins, samanborið við ríki eins og Zaire, Kanada, Sovétríkin og Brasilíu. Í Zaire einu er t.d.talið hagkvæmt að virkja um 530.000 GWh/a eða um fimmtán sinnum meira en hér á landi. Það er því nauðsyn að sýna fyrirhyggju við virkjun vatnsaflsins og huga vel að hverju skrefi. Til þess þarf að hafa áætlanir til langs tíma (langtímaáætlanir) að leiðarljósi og vinna eftir föstu skipulagi, sem þó býr yfir nægjanlegum sveigjanleika til að hægt sé að bregðast við ólíkum ástæðum.



HEIMILDARSKRÁ

Davíð Egilson & Birgir Jónsson 1981: Undirbúningur fyrir vatns-  
afsvirkjanir. Erindi flutt á Orkuþingi 1981.

Orkuspárnefnd 1982: Orkuspá 1982-2000.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. 1978: Skilgreining  
virkjunaráætlana. VST FRÉTTIR nr. 4 1978.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. 1980: Nákvæmni kostnað-  
aráætlana. Bréf til Landsvirkjunar, dags. 15. janúar 1980.