



ORKUSTOFNUN
Vatnsorkudeild

Jón Ingimarsson
Birgir Jónsson
Davíð Egilson
Freysteinn Sigurðsson

UNDIRBÚNINGUR VATNSAFLSVIRKJANA

Markmið og framkvæmd

OS-83045/VOD-04

Reykjavík, júní 1983



ORKUSTOFNUN

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

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

UNDIRBÚNINGUR VATNSAFLSVIRKJANA

Markmið og framkvæmd

OS-83045/VOD-04

Reykjavík, júní 1983

Önnur útgáfa

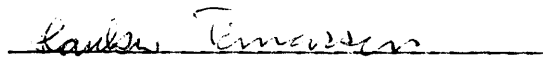
FORMÁLI

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 olfuvörum 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 smiðju 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, forstjóri

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	2
FORMÁLI	3
EFNISYFIRLIT	4
TÖFLU- OG MYNDASKRÁ	4
1 INNGANGUR	5
2 ÁFANGASKIPTING RANNSÓKNA	6
3 TENGL RANNSÓKNA, VERKFRÆÐIÁÆTLANA OG ÁKVARÐANA ..	12
4 RANNSÓKNARSTIG	14
5 VERKFRÆÐIÁÆTLANIR	20
6 VIRKJUN VATNSAFLS OG RANNSÓKNARHRAÐI	23
7 SAMANTEKT	27
HEIMILDASKRÁ	29
ABSTRACT IN ENGLISH	30

TÖFLUSKRÁ

TAFLA 1a Helstu einingar	6
TAFLA 1b Magnforskeyti	6
TAFLA 2 Flokkun virkjana eftir orkumætti	7

MYNDASKRÁ

1 Afangaskipting virkjunarrannsókna	9
2 Verkpættir virkjunarrannsókna	15
3 Vatnsorka á Íslandi	25

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 áætlun um kostnað við byggingarframkvæmdir. Í kafla 2 er einnig sett fram tillaga um flokkun virkjana eftir stærð.

Í kafla 3 er gerð grein fyrir samþættingu 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 orkupörf 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, t.d. Zaire.

2 ÁFANGASKIPTING RANNSÓKNA

Raforkunotkun hefur vaxið að meðaltali um rúm 6% á ári hér á landi að undanförunu og því er spáð að næstu ár muni hún vaxa um 120-140 GWh (Gígawattstundir) á hverju ári (sjá Orkuspá 1982-2000). Raforka er margfeldi rafafls (t.d. í kW) og þess tíma sem það er notað (klst.) (sjá töflu la og lb). 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 tíma- bundna 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) árlegri aukningu orkuþarfar er því 120 milljón kWh deilt með 5000 klst. eða 24.000 kW sem er 24 MW. Komi til nýs orkufreks iðnaðar eykst raforkuþörfin enn meira. Ákvörðun um það er þó tekin af stjórnvöldum á hverjum tíma. Hin síðari ár hefur verið reynt að hafa jafnan nokkra virkjunarstaði á því stigi rannsóknar að hægt væri að taka ákvörðun um byggingu nýrrar virkjunar með til- tölulega skömmun fyrirvara. Þetta er nauðsynlegt m.a. til að hægt sé að mæta breyttum viðhorfum til raforkusölu.

TAFLA la 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 lb Magnforskeyti

k	kíló	103	1.000	þúsund
M	mega	106	1.000.000	milljón
G	gíga	109	1.000.000.000	milljarður
T	tera	1012	1.000.000.000.000	billjón
P	peta	1015	1.000.000.000.000.000	billjarður

Þeir virkjunarkostir sem völ er á eru mjög mismunandi að

stærð. Val á því hvaða kostur er heppilegastur fer að mestu eftir því 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 enn fremur 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.

TAFLA 2 Flokkun virkjana eftir orkumætti

Stærð	Orkumáttur GWh/a	Afl MW	Hagkvæmustu not	Dæmi
Smáar	0-250	0-50	Til þess að auka rekstraröryggi 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 fullsmáar fyrir stóriðju.	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 stóriðju.	Búrfell (Fljótsdalsvirkjun)

* Í sviga eru nefndar virkjanir á undirbúningsstigi

Yfirleitt fer kostnaður við framleiðslu á hverri orku-einingu (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 krefjast dýrs og tímafreks undirbúnings. Auk þess veldur virkjun einatt röskun á umhverfi og oft deilum um eignarrétt.

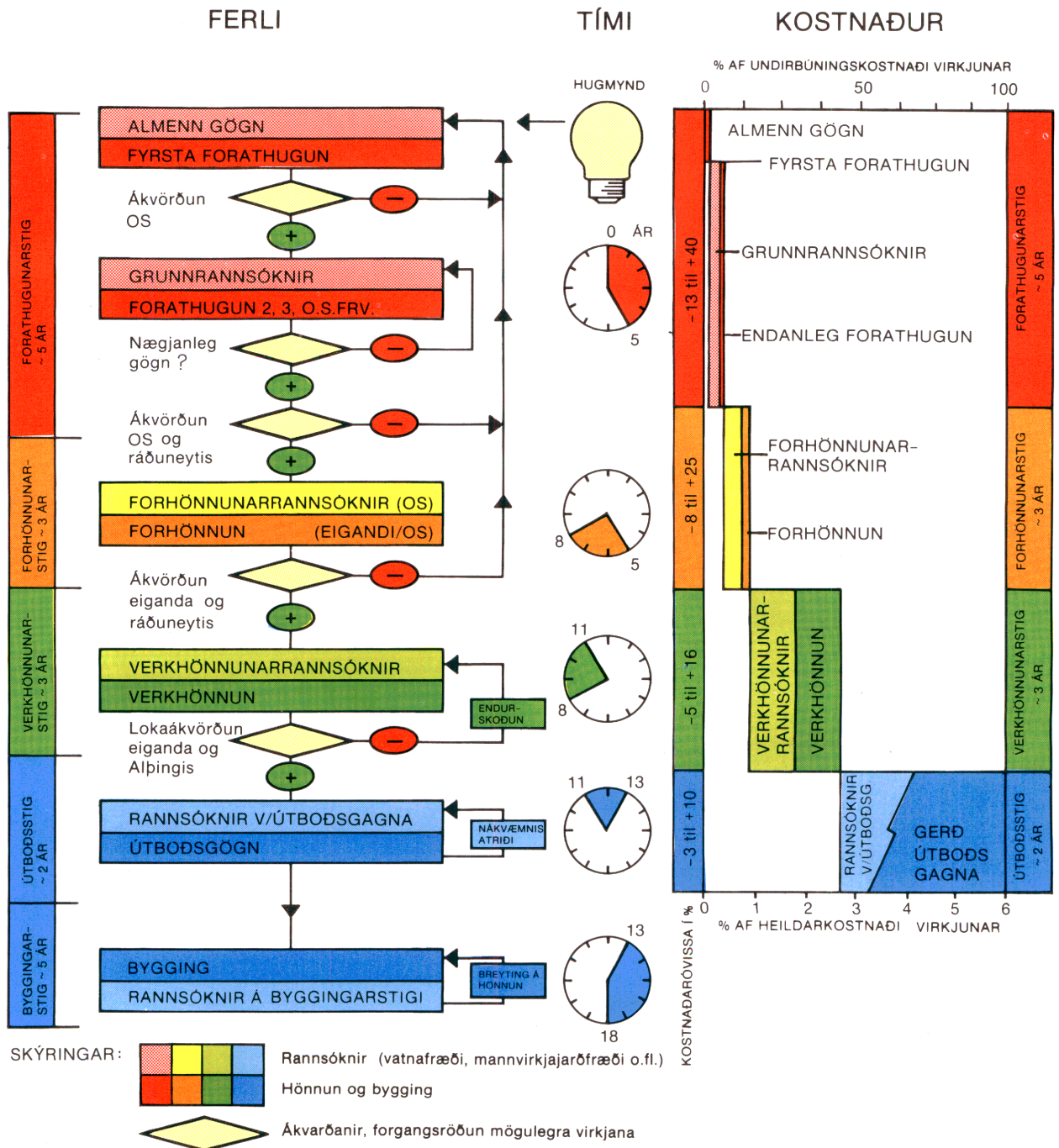
Undirbúningur virkjana byggir á samþættingu áætlana, rannsóknna og ákvarðana. Líkt og mynd 1 sýnir er þetta samfelld ferli þar sem hvert atriði leiðir af öðru. Þetta veldur því að ferlið svarar seint snöggum breytingum og skyndi-ákvörðunum og þolir þær illa. Samfelld og skipuleg vinna er alla jafna affarasælust. 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 óbætanlegar. Til að unnt sé að fyrirbyggja mistök verður rannsóknin að beinast að flestum þeim atriðum sem koma til með að skipta máli við gerð mannvirkisins máli eins og nýtanlegri fallhæð, rennsli, veðurfari, eiginleikum jarðlaga og umhverfis- 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.

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



ÁFANGASKIPTING VIRKJUNARRANNSÓKNA



Sérfræðingar á sviði vatnsorkuvirkjana hafa hin síðari árgert sér far um að koma á staðlaðri áfangaskiptingu á rannsóknafærlinu (sjá heimildalista). Þar verður einum áfanga að vera lokið áður en annar, sem að 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 anmarkar eru á þessum frumhugmyndum. Slíkt leiðir oft 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.

3 TENGSL RANNSÓKNA, VERKFRÆÐIÁÆTLANA OG ÁKVARÐANA

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 þekking eykst. Rannsóknir beinast þannig frá upphafi að vali hentugustu tilhögunar virkjunar 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 hólmi næstu áætlun á undan. Fyrstu verkfræðiáætlunir (forathuganir), sem eru ónákvæmar, eru áfangar í leit að hentugustu virkjunartilhögun og beina því rannsóknum í vaxandi mæli að ákveðnum stöðum eða atriðum. Síðari verkfræðiáætlunir (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 Alþingi). Í samræmi við það hefur Orkustofnun frumkvæði að rannsóknum til loka forhönnunar-rannsókna, 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 nán 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 (mynsturáætlunar) 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 virkjunarrannsóknna 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.

Æskilegt 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 aftar í forgangsröðinni og rannsókn sé því hætt um sinn eða endanlega.

Verkfræðiaætlanir, 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):

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

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



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							
	Íssjármælingar							
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							
JARÐTÆKNI	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 hálfvís tákna að þörf gæti verið að vinna við þann verkþátt á því stigi.

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 vatnsaflí, 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 hæðarlínum, gerð yfirlitsjarðfræðikorta, umhverfissóknir 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 Iðnaðarráðuneytið og samstarfsnefnd um undirbúning vatnsaflsvirkjana eftir samburð við aðra kosti á sama stigi. Á þessu stigi þarf að vinna að landmælingum og kortagerð í mælikvarða 1:5.000 með 1 m hæðarlínum á völdum stöðum. Einnig þarf nákvæmar vatnamælingar, vatnasviðsgreiningu og grunnvatnsmælingar. 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 álitserð 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 við lok þessa stigs, en að því loknu fer fram forhönnun. Eðlilegt er að frumkvæði Orkustofnunar í virkjunarrannsókn-um ljúki á forhönnunarstigi.

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 vatns-

aflsvirkjana. 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 álita komi að breyta tilhögun virkjunar, sem þá þyrfti að bera saman við aðra forhannaða virkjunarkosti. Verkhönnunarrannsókn felur í sér framhald 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 efnisnámu ef vafi leikur á vinnsluhæfni jarðefna. Ljúka þarf gerð landakorta í mælikvarða 1:5.000 af öllum mannvirkjasvæðum. Fjölga þarf vatshæðarmælum í lengri eða skemmri tíma, auk þess sem rennslismælingar til samanburðar þurfa að fara fram víða á vatnasviðinu. Ljúka þarf rannsókn á umhverfisáhrifum fyrirhugaðrar 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 gera þarf skil öllum stærri tæknilegum úrlausnarefnum varðandi gerð virkjunarinnar 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 mannvirkjana, í þeim tilgangi að útboðsforsendur og kostnaðaráætlanir 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 jarðefnanámu og á mannvirkjastöðum. Einnig getur þurft að gera tilraunafyllingar 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 efnisnámmum 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 og breytingu á aurburði og líffræði vatnakerfis þess, sem virkjað hefur verið.

5 VERKFRÆÐIÁÆTLANIR

Verkfræðilega vinnu við mat á virkjunarkostum má annars vegar greina í ráðgjöf í tengslum við rannsóknir og hins vegar verkfræðiáætlanir. Ráðgjöf og rannsóknir fylgjast að en við ákveðna áfanga er gerð heildarúttekt á áætlaðri virkjunartilhögun, svokölluð verkfræðiáætlun. Í verkfræðiáætlunum er orkumáttur virkjana metinn, 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 vatnsaflið 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 (sbr. 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; nákvæmara mat á hagkvæmni virkjunar. Ákvörðun um virkjunarframkvæmdir byggir á hagkvæmnismatinu. Líkleg óvissa -5 til +16% af áætluðum byggingarkostnaði.

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

Fyrri forathuganir eru lauslegar verkfræðilegar athuganir á virkjunarkostum ákveðins svæðis eða vatnasviðs. Stofn-

kostnaður 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 grunnrannsóknum.

Að forathugun lokinni er gerð mynsturáætlun sem er heildaráætlun fyrir virkjanir á viðkomandi vatnasviði. Jafnframt eru virkjunarkostir svæðisins bornir saman við virkjunarkosti annarra svæða og forgangsröð virkjana til forhönnunarrannsókna ákveðin af Orkustofnun og Iðnaðarráðuneyti, eftir umfjöllun í samstarfsnefnd um undirbúning vatnsaflsvirkjana 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 rannsókna og hönnunar og reiknaður væntanlegur stofnkostnaður og orkumáttur. Til að unnt sé að forhanna virkjun þarf forhönnunarrannsóknum 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 verkhönnunarrannsókna 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 færist frá Orkustofnun til væntanlegs eiganda.

Verkhönnun er ítarlegri 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 verkhönnunarrannsóknunum 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, að fengnum tillögum Iðnaðarráðuneytis, eiganda virkjunar, Orkustofnunar og samstarfsnefndar um undirbúning vatnsaflsvirkjana.

Útboðslýsing er gerð útboðsgagna og hluta vinnuteikninga við endanlega hönnun. Tilgangurinn 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 verkhönnunargestigi á forhönnunargestig að nýju. Rannsóknir vegna slíkra kosta eru ýmist 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 virkjananna. Eins og fram kom í innangi 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 verkhönnunar-rannsókna 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. Grunnrannsóknir taka um þriðjung af rannsóknartímanum. Hins vegar þarf aðeins að verja um sjö prósentum af undirbúningskostnaði virkjunar til þeirra. Við 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. Rannsóknáætlun til aldamóta gæti spannað ferli einnar

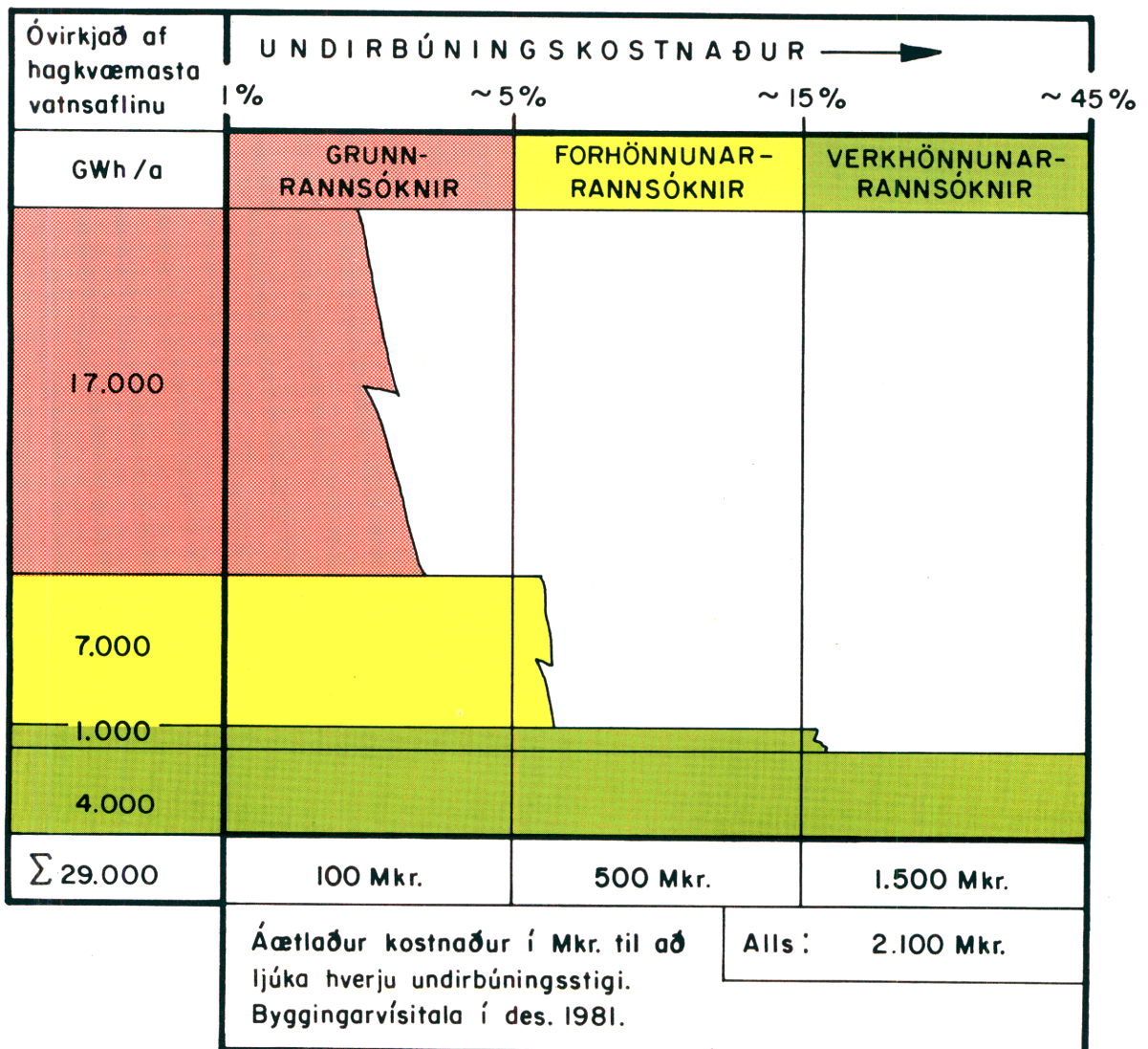
virðjunar frá upphafi grunnrannsóknna þar til virðjunin er fullbyggð og orkuframleiðsla hefst. Gerð hefur verið langtímaáætlun um vatnsaflsrannsóknir fram til aldamóta á vegum Vatnsorkudeildar Orkustofnunar.

Eins og áður segir fer hraði rannsóknna eftir áætlaðri raforkuþörf landsmanna hverju sinni og ræðst mikið af uppbyggingu orkufreks iðnaðar (sjá efri mörk áætlaðrar orkuþarfar hér að framan). Ljóst er að vatnsafl landsins 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 iðnfyrirtækin ganga úr sér, eða eru lögð niður af öðrum ástæðum. Hinu má samt ekki gleyma, þótt 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 fyrirbyggju við virkjun vatnsaflsins og huga vel að hverju skrefi. Til þess þarf að hafa áætlanir til langs tíma að leiðarljósi og vinna eftir föstu skipulagi, sem þó býr yfir nægjanlegum sveigjanleika til að hægt sé að bregðast við ólíkum aðstæðum.

VATNSORKA Á ÍSLANDI

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

STAÐA RANNSÓKNA Á HAGKVÆMUSTU VATNSORKU ÍSLANDS



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.

7 SAMANTEKT

Hér á eftir eru talin upp undirbúningsstigin og hvað þau þýða. Hönnunarstigin eru skyggð.

Almenn gögn: M.a. landakort í mælikvarða 1:50.000 með 20 m hæðarlínum, vatnamælingar í viðkomandi á eða nálægum ám, veðurfarsgögn, yfirlitsjarðfræðikort o.fl.

Fyrri forathuganir: Á grundvelli almennra gagna má meta hvar möguleiki sé á það hagkvæmu vatnsaflí, að það gefi tilefni til sérstakrar rannsóknar. Á þessum almennu gögnum er byggð mjög lausleg kostnaðaráætlun.

Grunnrannsóknir: Beinast að því að finna grundvallarforsendur virkjunar, þ.e. fallhæð, rennsli og líkur á því að virkjun sé framkvæmanleg fyrir raunhæft verð.

Endanleg forathugun: Einfalt mat á virkjunarkostum á ákveðnu svæði. Forgangsröðun í forhönnunarrannsókn byggir á þessu mati.

Forhönnunarrannsóknir: Beinast að einstökum virkjunarstöðum með það fyrir augum að hægt sé að velja nokkurn veginn endanlega tilhögun virkjunar til forhönnunar.

Forhönnun: Mat á hagkvæmni virkjunar. Forgangsröðun í verkhönnunarrannsókn byggir á þessu mati.

Verkhönnunarrannsóknir: Beinast að endanlegri tilhögun virkjunar.

Verkhönnun: Nákvæmara mat á hagkvæmni virkjunar. Ákvörðun um virkjunarframkvæmdir byggir m.a. á hagkvæmnimatinu.

Rannsóknir vegna útboðsgagna: Gerð útboðsgagna krefst yfirleitt nákvæmari upplýsinga um viss atriði í þeim tilgangi að útboðsforsendur og kostnaðaráætlanir séu eins réttar og unnt er.

Útboðslýsing: Hönnun einstakra hluta virkjunar. Gerð vegna útboðs einstakra hluta virkjunar.

Hér á eftir verða talin upp nokkur aðalatriði er varða virkjunarrannsóknir og oft vilja gleymast.

1. Vinna þarf eftir skipulegri rannsóknar áætlun til nokkurra ára í senn.
2. Hverju rannsóknarstigi þarf að ljúka áður en hafist er handa við næsta stig.
3. Ekki er hægt að hlaupa yfir rannsóknarstig.
4. Veruleg hætta á mistökum er fólgin í því að hraða rannsóknum meir en eðlilegt er samkvæmt rannsóknaráætlun.
5. Ójafnar fjárveitingar milli ára til rannsókna valda óskipulegum vinnubrögðum og slæmri nýtingu á mannafla og fjármunum.
6. Áætlanir um grunnrannsóknir verða að taka mið af því hversu mikla vatnsorku þarf að virkja næstum tveim áratugum seinna.
7. Grunnrannsóknir taka um þriðjung af rannsóknartímanum, en aðeins um sjö prósent af undirbúningskostnaði virkjunar er hins vegar varið til þeirra.
8. Vandaðar grunnrannsóknir leiða til markvissari vinnubragða.
9. Hvert rannsóknarstig tekur sinn tíma og það er ekki hægt að kaupa þann tíma þótt verulegar upphæðir séu fyrirvaralaust lagðar fram til rannsókna.
10. Skipuleg vinna, þjálfað starfsfólk og jafnar fjárveitingar skila bestum árangri.

HEIMILDASKRÁ

Davíð Egilson & Birgir Jónsson 1981: **Undirbúningur fyrir vatnsaflsvirkjanir.** Erindi flutt á Orkuþingi 1981.

Orkuspárnefnd 1982: **Orkuspá 1982-2000.**

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

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. 1980: **Nákvæmni kostnaðaráætlana.** Bréf til Landsvirkjunar, dags. 15. janúar 1980.

ABSTRACT IN ENGLISH

The report deals with the preparation work for hydropower projects, i.e. exploration, planning, site investigation and design. The purpose and execution of individual items in the preparation are outlined and the interplay of exploration, planning, site investigation, design and decision-making explained. A classification of power plants according to power generating capacity with reference to Iceland is proposed. A division of the preparatory work into progress stages is presented; as well as the time in years needed for completing each stage, i.e. prefeasibility, feasibility, project design, contract documents stage and construction stage, and the increase in cost with each progressive stage along with less inaccuracy in estimates on capital cost and generating capacity. Research and site investigations are dealt with; preliminary, feasibility and project design investigations, as well as those performed during the contract document stage, construction stage and operation of the power plants. Individual research items and their purpose are briefly discussed. The objectives of engineering project planning for hydropower projects are presented. Finally the importance of coordinated long-term planning in the preparation of hydropower projects is emphasized.