



ORKUSTOFNUN
Orkubúskapardeild

Jón Vilhjálmsson

**SAMANBURÐUR VIRKJUNARKOSTA
Á FYRSTU RANNSÓKNARSTIGUM**

OS-84006/OBD-01
Reykjavík, febrúar 1984



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Jón Vilhjálmsson

**SAMANBURÐUR VIRKJUNARKOSTA
Á FYRSTU RANNSÓKNARSTIGUM**

OS-84006/OBD-01
Reykjavík, febrúar 1984

ÁGRIP OG HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Athugaðar eru áætlanir um þá virkjunarkosti vatnsorku, sem eru á forathugunarstigi eða því stigi lokið, og um jarðgufustöð í Hengli. Fundinn er stofnkostnaður á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg, en samanburður kosta grundvallast á þessum stærðum. Allar kostnaðartölur eru færðar til verðlags í mars 1983. Jafnframt er tekið tillit til óvissu í áætlunum.

Virkjunarkostir í Hvítá koma einna best út, en þar sem áætlun um þá er nokkuð komin til ára sinna er hún líklega ekki fullkomlega samanburðarhæf við nýlegar áætlanir og er því þörf á að endurskoða hana. Stórvirkjanir á Austurlandi virðast mjög hagkvæmar fyrir stórfellda uppbyggingu orkufreks iðnaðar, en við hægari uppbyggingu markaðarins koma þær vart til greina. Búðarhálsvirkjun í Tungnaá og einstaka kostir í Neðri-Þjórsá virðast einnig tiltölulega hagkvæmir. Jarðgufustöð í Henglinum virðist aftur á móti ekki vera samkeppnisfær við hagkvæmustu virkjunarkosti vatnsorku.

Að öllum líkindum ætti framleiðslukostnaður raforku til stóriðju frá hagkvæmustu kostum (Hvítá) ekki þurfa að vera hærri en það orkuverð til stóriðju sem nú er mest rætt um (um eða innan við 22 mill/kWh). Stórfelld uppbygging virkjana á Austurlandi gæti líklega gefið eitthvað lægri framleiðslukostnað. Til almennra nota gæti framleiðslukostnaður raforku frá hagkvæmustu kostunum nokkuð örugglega orðið um eða innan við 60 aurar/kWh miðað við verðlag í mars 1983 (um 30 mill/kWh).

Helstu niðurstöður reikninga eru sýndar í töflum 1 og 2. Í töflu 1 er reiknað orkuverð kosta á mismunandi rannsóknarstigum ekki sambærilegt, en aftur á móti má bera saman flokkunina í töflu 2.

Tafla 1 Virkjunarkostir til raforkuframleiðslu. Stofn-
kostnaður á orkueiningu og reiknað orkuverð við
stöðvarvegg. Verðlag í mars 1983, 8 % reiknivextir
og 6000 stunda nýting á ári.

| Kenni- tala X.Y | Kostur | Stofnkostnaður á orkueiningu kr/kWh/a | Orkuverð kr/kWh | |
|-----------------------|--------------------|---|-----------------------|---------------------|
| | | | Vöxtur 100 GWh/a/a | Fullnýting strax |
| 9.2 | Blönduvirkjun | 3,7 | 0,47 | 0,35 |
| 7.2 | Fljótsdalsv. | 3,9 | 0,59 | 0,36 |
| 7.2 | Villinganesv. | 4,0 | 0,41 | 0,38 |
| 7.2 | Sultartangav. | 4,2 | 0,51 | 0,40 |
| 6.2 | Vatnsfellsv. | 3,3 | 0,37 | 0,31 |
| 3.3 | Hvítá, samtals | 2,8 | 0,41 | 0,27 |
| | Ábóti+Sandvv. | 4,6 | 0,48 | 0,43 |
| | Stóraver | 2,6 | 0,38 | 0,25 |
| | Haukholt | 2,5 | 0,27 | 0,23 |
| 3.2 | Búðarháls | 3,3 | 0,39 | 0,31 |
| 3.1 | Giljamúli | 3,6 | 0,47 | 0,34 |
| 3.2 | Króksvirkjun | 3,9 | 0,56 | 0,36 |
| 3.2 | Bjallavirkjun | 4,0 | 0,43 | 0,37 |
| 3.3 | Vatnsfjarðarv. | 5,7 | 0,57 | 0,53 |
| 2.3 | NA-land, samtals | 2,1 | | 0,20 |
| | Hafrahvammav. | 3,5 | 0,61 | 0,32 |
| | Brúarvirkjun | 2,3 | | 0,21 |
| | Jökulsárveita | 1,1 | | 0,11 |
| 2.1 | Urriðafoss | 3,2 | 0,42 | 0,30 |
| 2.1 | Núpur | 3,6 | 0,46 | 0,34 |
| 2.3 | Íshólsvatn | 3,9 | 0,43 | 0,37 |
| 2.1 | Búðafoss | 4,2 | 0,50 | 0,39 |
| 2.1 | Hvalárvirkjun | 5,1 | 0,52 | 0,47 |
| 2.1 | Skúfnavatnav. | 7,5 | 0,73 | 0,71 |
| Hengill | "góður" borárangur | 2,9 | 0,44 | 0,36 |
| | "sæmilegur" -- | 3,8 | 0,59 | 0,49 |
| | "lélegur" -- | 5,5 | 0,89 | 0,74 |

Tafla 2 Flokkun virkjunarkosta eftir orkuverði við stöðvarvegg. Verðlag í mars 1983, 8 % reiknivextir og 6000 stunda nýting á ári.

a) Skilgreining flokka.

b) Flokkun.

a)

| Flokkur | Minna en 10 % líkur á að orkuverð frá virkjun verði hærra en |
|---------|---|
| I | 30 aurar/kWh 15 mill/kWh |
| II | 40 -- 20 -- |
| III | 50 -- 25 -- |
| IV | 60 -- 30 -- |
| V | 70 -- 35 -- |
| VI | 80 -- 40 -- |
| VII | Meira en 10 % líkur á að orkuverð verði hærra en 80 aurar/kWh |

b)

| Kenni-tala | Kostur | Vöxtur 100 GWh/a/a | Fullnýting strax |
|------------|-----------------|-----------------------|---------------------|
| 9.2 | Blönduvirkjun | IV | II |
| 7.2 | Fljótsdalsv. | V | III |
| 7.2 | Villinganesv. | III | III |
| 7.2 | Sultartangav. | V | III |
| 6.2 | Vatnsfellsv. | III | II |
| 3.3 | Hvítá | IV | II |
| 3.2 | Búðarháls | IV | III |
| 3.1 | Giljamúli | V | IV |
| 3.2 | Króksvirkjun | VII | IV |
| 3.2 | Bjallavirkjun | V | IV |
| 3.3 | Vatnsfjarðarv. | VII | VII |
| 2.3 | NA-land Samtals | | I |
| +++++ | | | |
| 2.3 | Hafravammav. | VII | III |
| +++++ | | | |
| 2.1 | Urriðafoss | V | III |
| 2.1 | Núpur | V | IV |
| 2.3 | Íshólsvatn | V | IV |
| 2.1 | Búðafoss | VI | V |
| 2.1 | Hvalárvirkjun | VI | VI |
| | Hengill | VII | VI |

EFNISYFIRLIT

| | |
|--|----|
| ÁGRIP OG HELSTU NIÐURSTÖÐUR | 2 |
| EFNISYFIRLIT | 5 |
| TÖFLUSKRÁ | 7 |
| MYNDASKRÁ | 9 |
| 1 INNGANGUR | 11 |
| 2 KOSTIR SEM FORATHUGUN ER AÐ MESTU LOKIÐ Á | 15 |
| 2.1 Virkjanir á Þjórsár- Tungnaáarsvæðinu | 16 |
| 2.2 Virkjanir í Efri-Hvítá | 18 |
| 2.3 Virkjanir á Glámusvæðinu á Vestfjörðum | 21 |
| 2.4 Virkjun Jökulsáanna í Skagafirði, Giljamúlavirkjun | 22 |
| 3 KOSTIR Á FORATHUGUNARSTIGI | 25 |
| 3.1 Neðri-Þjórsá | 25 |
| 3.2 Ófeigsfjarðarheiði | 28 |
| 3.3 Virkjanir í Skjálfandafljóti | 29 |
| 3.4 Virkjanir í Jökulsánum á Norðausturlandi ... | 31 |
| 4 VIRKJUN JARÐVARMA TIL RAFORKUFRAMLEIÐSLU | 34 |
| 4.1 Jarðgufustöð í Hengli | 34 |
| 4.2 Reynslan af Kröfluvirkjun | 36 |
| 5 SAMANBURÐUR KOSTA | 38 |
| 5.1 Virkjunarkostir vatnsorku sem forathugun er að mestu lokið á og jarðgufustöðvar | 39 |
| 5.2 Kostir á forathugunarstigi | 43 |

| | | |
|-----|--|----|
| 6 | ÓVISSA Í ÁÆTLUNUM | 45 |
| 6.1 | Mat á óvissu í áætlunum um vatnsafls- virkjanir | 45 |
| 6.2 | Mat á óvissu í áætlunum um jarðgufu- virkjanir | 49 |
| 6.3 | Áhrif óvissu á orkuverð | 50 |
| 7 | NIDURSTÖÐUR | 54 |
| | HEIMILDASKRÁ | 58 |
| | VIÐAUKAR: | |
| 1 | Aðferðir | 61 |
| 2 | Virkjunarkostir á seinni rannsóknarstigum | 69 |
| 3 | Samanburður við önnur lönd | 75 |

TÖFLUSKRÁ

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Virkjunarkostir til raforkuframleiðslu. Stofn- kostnaður á orkueiningu og reiknað orkuverð við stöðvarvegg. Verðlag í mars 1983, 8 % reikni- vextir og 6000 stunda nýting á ári | 3 |
| 2 | Flokkun virkjunarkosta eftir orkuverði við stöðvarvegg. Verðlag í mars 1983, 8 % reikni- vextir og 6000 stunda nýting á ári | 4 |
| | a) Skilgreining flokka b) Flokkun | |
| 3 | Virkjunarkostir vatnsorku sem forathugun er að mestu lokið á | 15 |
| 4 | Virkjunarkostir á Þjórsár- Tungnaárvæðinu | 16 |
| 5 | Virkjunarkostir í Efri-Hvítá | 19 |
| 6 | Vatnsfjarðarvirkjun | 22 |
| 7 | Giljamúlavirkjun í Skagafirði | 23 |
| 8 | Virkjunarkostir vatnsorku á forathugunarstigi ... | 25 |
| 9 | Virkjunarkostir í Neðri-Þjórsá (5000 stunda nýting á ári) | 26 |
| 10 | Virkjun Neðri-Þjórsár, tilhögun I. Stofn- kostnaður á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg | 28 |
| 11 | Virkjunarkostir á Ófeigsfjarðarheiði (um 5000 stunda nýting á ári) | 29 |
| 12 | Hvalárvirkjun III og Skúfnavatnavirkjun. Stofn- kostnaður á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg | 29 |
| 13 | Virkjun við Íshólsvatn | 31 |
| 14 | Virkjunarkostir í Jökulsánum á Norðausturlandi .. | 32 |
| 15 | Stofn- og rekstrarkostnaður jarðgufustöðvar | 35 |

| | | |
|----|--|----|
| 16 | Jarðgufustöð í Henglinum. Stofnkostnaður á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg | 36 |
| 17 | Virkjun með sama áætlaðan stofnkostnað og Kröflu- virkjun. Stofnkostnaður á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg. Rekstrarkostnaður 3,5 % af stofnkostnaði á ári | 37 |
| 18 | Virkjunarkostir vatnsorku sem forathugun er að mestu lokið á og jarðgufuvirkjanir. Stofn- kostnaður á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg miðað við fullnýtingu strax | 40 |
| 19 | Virkjunarkostir vatnsorku sem forathugun er að mestu lokið á og jarðgufustöðvar. Orkuverð við stöðvarvegg við línulegan vöxt markaðarins um 100 GWh/a/a | 41 |
| 20 | Samanburður nokkura virkjunarkosta vatnsorku og jarðgufu miðað við 8000 klst. nýtingartíma virkjana á ári og fullnýtingu strax | 43 |
| 21 | Virkjunarkostir á forathugunarstigi. Stofn- kostnaður á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg miðað við fullnýtingu virkjana um leið og þær komast í rekstur | 44 |
| 22 | Virkjunarkostir á forathugunarstigi. Orkuverð við stöðvarvegg við línulegan vöxt markaðarins um 100 GWh/a/a | 44 |
| 23 | Blönduvirkjun, áætlaður stofnkostnaður og orkumáttur | 45 |
| 24 | Fljótsdalsvirkjun, áætlaður stofnkostnaður og orkumáttur | 46 |
| 25 | Flokkun virkjunarkosta eftir orkuverði við stöðvarvegg | 50 |
| 26 | Flokkun virkjunarkosta | 51 |
| 27 | Flokkun virkjunarkosta miðað við 8000 klst. nýtingartíma virkjana á ári | 52 |

MYNDASKRÁ

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Staðsetning yfirlitskorta af virkjunarsvæðum | 13 |
| 2 | Virkjanahugmyndir á Þjórsár- Tungnaárvæðinu | 17 |
| 3 | Tilhögun virkjana í Efri-Hvítá | 20 |
| 4 | Tilhögun Giljamúlavirkjunar | 24 |
| 5 | Tilhögun virkjana í Neðri-Þjórsá | 27 |
| 6 | Virkjunarkostir í Skjálfandafljóti | 30 |
| 7 | Tilhögun virkjunarkosta í Jökulsánum á Norð- austurlandi | 33 |
| 8 | Líkindadreifing stofnkostnaðar virkjana | 48 |
| 9 | Líkindadreifing orkumáttar vatnsaflsvirkjana | 48 |
| 10 | Árangur borana, líkindadreifing | 50 |
| 11 | Flokkun orkumáttar virkjunarkosta eftir orkuverði við stöðvarvegg. Miðað er við línulegan vöxt markaðarins um 100 GWh/a/a | 55 |
| 12 | Flokkun orkumáttar virkjunarkosta eftir orkuverði við stöðvarvegg. Miðað er við fullnýtingu virkjana strax og þær hefja rekstur | 55 |

1 INNGANGUR

Á árinu 1982 gaf Orkustofnun út skýrsluna "Undirbúningur vatnsaflsvirkjana. Markmið og framkvæmd" eftir Jón Ingimarsson og fleiri. Í þeirri skýrslu er sett fram ferli áfangaskiptingar virkjunarránsókna og kemur meðal annars fram að við lok hvers rannsóknarstigs skal tekin ákvörðun um hvort rétt sé að halda rannsóknum áfram á viðkomandi virkjunarkosti að sinni. Ákvörðun sem þessi hlýtur að byggja á samanburði þeirra kosta sem eru á sama rannsóknarstigi. Í þessu sambandi er eðlilegt að hagkvæmni kosta sé metin á samræmdan hátt.

Í skýrslu Orkustofnunar "Fimm ára áætlun um rannsóknir vegna vatnsaflsvirkjana" frá því í október 1982 er staða rannsókna einstakra virkjunarkosta vatnsorku sýnd. Þar kemur m. a. fram hvaða kostir eru á forathugunarstigi og hverjir eru komnir á lokastig forathugunar. Rannsóknir á einstaka kostum eru mislangt á veg komnar, t. d. hafa sumir þeir kostir, sem eru á forathugunarstigi, lítið verið rannsakaðir, en rannsóknir á öðrum eru komnar nokkuð áleiðis. Sumir kostanna, sem lokið er forathugun á, eru komnir nokkuð inn á forhönnunarstig.

Þegar bera á saman virkjunarkosti á grundvelli áætlana, sem gerðar hafa verið um þá, skiptir miklu máli að þær séu byggðar á sambærilegum grunni. Áætlanir, sem unnar eru af mismunandi aðilum, verða ekki að öllu leyti sambærilegar nema þær séu unnar eftir staðli, en slíkur staðall hefur ekki verið fyrir hendi hér á landi hingað til. Í nýlegum áætlunum er tiltölulega gott samræmi, en erfitt er að bera þær saman við eldri áætlanir. Eðlilegt er því að greina virkjunaráætlanir ekki einungis eftir rannsóknarstöðu heldur einnig eftir því hvenær og af hverjum þær voru unnar. Hér verður hverjum kosti gefin viss kennitala, sem á m. a. að sýna á hvaða rannsóknarstigi hann er og hvers konar áætlun um er að ræða:

Kennitala kosts : X.Y

X = Rannsóknarstaða virkjunarkosts

Y = Flokkun kostnaðaráætlunar

X = 1 : Við upphaf forathugunar

2 : Forathugun komin nokkuð áleiðis, fyrstu forathugun lokið

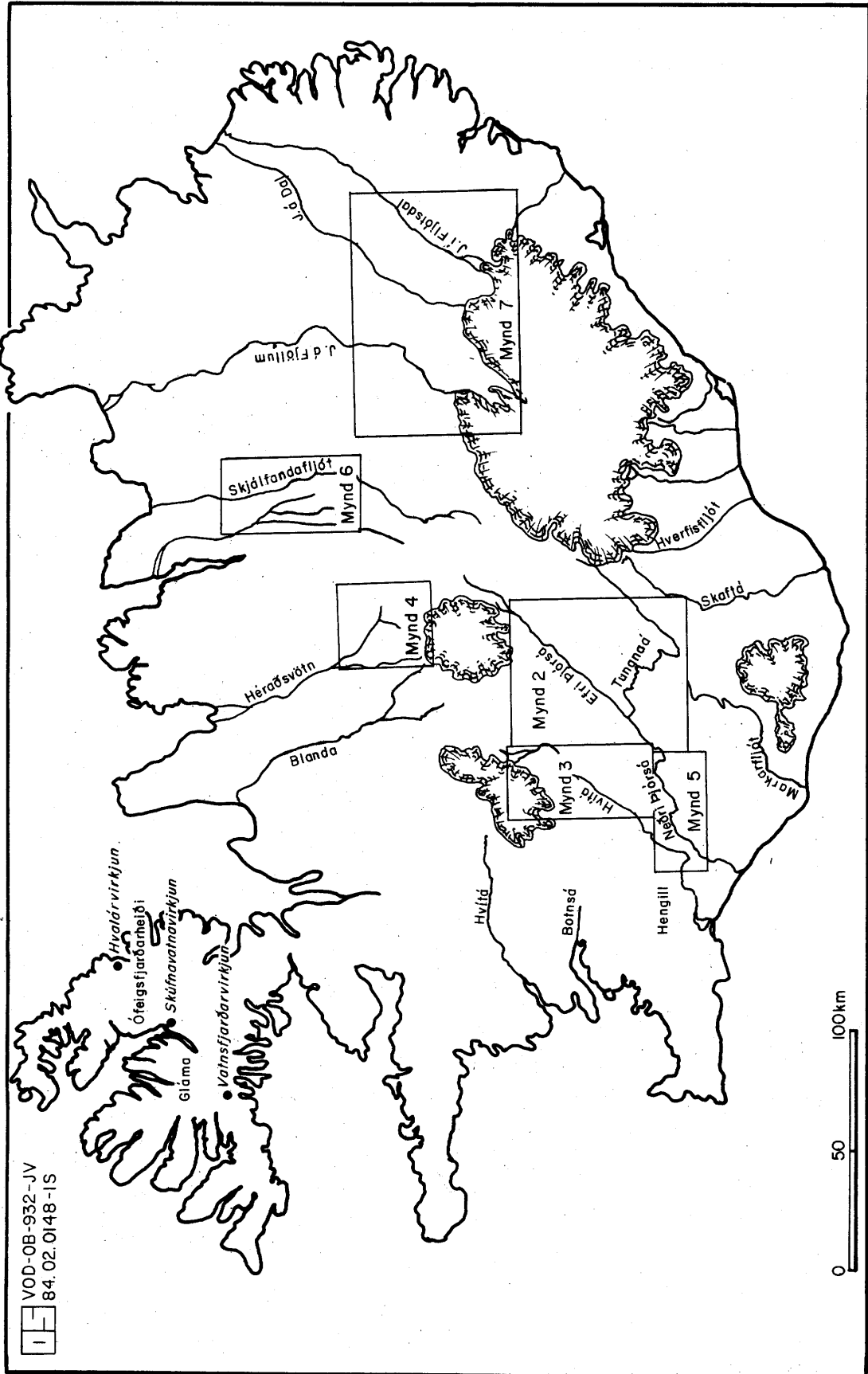
- 3 : Við lok forathugunar
- 4 : Á forhönnunarstigi
- 5 : Við lok forhönnunar
- 6 : Í verkhönnun
- 7 : Við lok verkhönnunar
- 8 : Á útboðsstigi
- 9 : Í byggingu
- 10: Í rekstri

- Y = 0 : Engin ítarleg áætlun til eða virkjun komin í rekstur
- 1 : Áætlun unnin með virkjanalíkani Orkustofnunar
 - 2 : Nýleg áætlun frá verkfræðistofu (innan við 5 ára)
 - 3 : Eldri áætlanir, þó innan við 12 ára
 - 4 : Áætlanir eldri en 12 ára

Jarðvarminn er orkugjafi, sem nýta má til raforkuframleiðslu, og er því eðlilegt að kannað sé hvort hann geti keppt við vatnsorkuna á því sviði. Til að hægt sé að bera saman virkjunarkosti jarðvarma og vatnsorku þurfa að vera fyrir hendi áætlanir um þessa kosti. Ekki er um auðugan garð að gresja hvað varðar áætlanir um jarðgufustöðvar, og þar sem rannsóknir á flestum háhitasvæðum eru komnar fremur stutt á veg verður að telja að virkjunarkostir jarðvarma til raforkuframleiðslu séu allir á forathugunarstigi.

Á mynd 1 eru sýnd þau virkjunarsvæði sem fjallað er um hér að aftan. Nánari útfærsla virkjana á hverju svæði er sýnd á yfirlitskortu í viðkomandi kafla.

Þegar bornir eru saman einstakir kostir þarf að miða við sama árlegan nýtingartíma. Í þessari skýrslu er miðað við 6000 klst. nýtingu uppsetts afls á ári í virkjunum. Unnt reyndist að umreikna allar áætlanir miðað við þennan nýtingartíma og var hann því notaður. Er fram líða stundir verða áætlanir væntanlega þannig úr garði gerðar að hægt verður að miða við mislangan nýtingartíma eftir því hvaða markaði virkjanir eiga að þjóna. Þetta atriði ætti ekki að valda alvarlegri skekkju við samanburð kosta, en vissulega hefur nýtingartíminn eða með öðrum orðum uppsett afl áhrif á reiknað orkuverð. Annað vandarmál við samanburð sem þennan er að áætlanir eru misgamlar og misgóðar. Við framreikning áætlana er notuð vísitala byggingarkostnaðar.



Mynd 1 Staðsetning yfirlitskorta af virkjunarsvæðum.

Við reikninga hér að aftan verður, ef ekki er annað tekið fram, miðað við eftirfarandi:

Verðlag í mars 1983, VB, = 1774

Áætlanir framreiknaðar með vísitölu byggingar-
kostnaðar

Gengi Bandaríkjadollars 20 kr

Reiknivexti 8%

Afskriftatíma vatnsaflsvirkjana 40 ár

Afskriftatíma jarðgufustöðva 25 ár

Rekstrarkostnað vatnsaflsvirkjana á ári 1 % af
stofnkostnaði

Árlega nýtingu virkjana 6000 klst.

Vonast er til að skýrsla þessi geti auðveldað ákvarðanir um það hvaða kosti ber að leggja áherslu á að ljúka forathugun og forhönnun á á næstunni. Þegar nýjar áætlanir liggja fyrir má endurtaka þá reikninga sem hér eru gerðir, og á þeim grunni er síðan hægt að endurskoða áætlanir um rannsóknir.

Eflaust má gagnrýna ýmsar forsendur og aðferðir sem hér eru notaðar, en telja verður að niðurstöðurnar gefi gott yfirlit yfir hagkvæmni virkjunarkosta og hver framleiðslukostnaður raforku frá þeim gæti orðið.

2 KOSTIR SEM FORATHUGUN ER AÐ MESTU LOKIÐ Á

Í fyrrnefndri 5 ára áætlun Vatnsorkudeildar er talið að forathugun sé að mestu lokið á þeim virkjunarkostum vatnsorku sem taldir eru upp í töflu 3.

Tafla 3 Virkjunarkostir vatnsorku sem forathugun er að mestu lokið á.

| X.Y | Kostur | Nýjasta áætlun |
|-----|-------------------|------------------------|
| 3.2 | Bjallavirkjun | AV, VIRKIR og VST 1980 |
| 3.2 | Búðarháls | -- |
| 3.2 | Efri-Þjórsá | -- |
| 3.3 | Efri-Hvítá | VST 1977 |
| 3.4 | Neðri-Hvítá | Ýmsar gamla áætlanir |
| 3.4 | Kljáfoss | Áætlun 1964/1975 |
| 3.3 | Vestfirðir, Gláma | AV 1977/1982 |
| 3.1 | Giljamúlavirkjun | OS 1982 |
| 3.0 | Villinganes+ | |
| 3.0 | Blanda+ | |

Um þessa kosti skal eftirfarandi tekið fram:

- Áætlanir um virkjanir á vatnasviði Neðri-Hvítár eru orðnar gamlar, en þær voru nokkuð til umræðu áður en ákveðið var að ráðast í Búrfellsvirkjun. Um er að ræða nokkra smáa kosti (Hestvatn, Brúará, Selfoss) sem eru að öllum líkindum tiltölulega óhagkvæmir jafnframt því sem þeir eru á byggðum landssvæðum og gætu haft víðtæk áhrif á náttúrufar. Einnig er nánast ómögulegt að bera saman þetta gamlar áætlanir og nýlegar áætlanir. Því verður ekki litið nánar á þessa kosti.
- Áætlun um virkjun við Kljáfoss í Hvítá í Borgarfirði var gerð á árinu 1964, en var endurreiknuð árið 1975. Áætlunin er því að uppruna nokkuð gömul og kostnaðar-reikningar ekki í samræmi við áætlanir síðustu ára. Erfitt er því að bera þessa áætlun saman við nýrri áætlanir, og eru honum því ekki gerð frekari skil hér.
- Þeir virkjunarkostir á Vestfjörðum sem hér um ræðir

eru á Glámusvæðinu. Af virkjunarkostum þar er Vatnsfjarðarvirkjun einna mest rannsökuð og líklega þeirra hagkvæmust, og eru honum því ekki gerð frekari skil.

- Villinganes+ er hugsanleg stækkun Villinganesvirkjunar sem yrði möguleg samfara Giljamúlavirkjun. Blanda+ eru smáir virkjunarkostir milli miðlunar- og inntakslóna Blönduvirkjunar. Ekki eru til áætlanir um þessa kosti og verður því ekki litið á þá.

2.1 Virkjanir á Þjórsár- Tungnaárvæðinu

Upplýsingar um þessa kosti eru fengnar úr skýrslu Landsvirkjunar "Þjórsárvirkjanir. Mynzturáætlun um orkunýtingu á vatnasviði Þjórsár niður fyrir Búrfell", sem unnin var af Almennu verkfræðistofunni hf., VIRKI hf. og Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen hf. 1980. Nokkrar stærðir fyrir þessa kosti eru sýndar í töflu 4. Kostnaður við gerð miðlunar í Stórasjó er ekki innifalinn í þessum tölum.

Tafla 4 Virkjunarkostir á Þjórsár- Tungnaárvæðinu.

| Kostur | Afl MW | Orku- máttur GWh/a | Stofn- kostnaður Mkr | I I I | Afleiddar stærðir (1) (2) (3) |
|---------------|-----------|--------------------------|----------------------------|-------------|-------------------------------------|
| Bjallavirkjun | 65 | 385 | 1520 | I | 4,0 0,43 0,37 |
| Búðarháls | 100 | 580 | 1920 | I | 3,3 0,39 0,31 |
| Króksvirkjun | 190 | 1140 | 4410 | I | 3,9 0,56 0,36 |

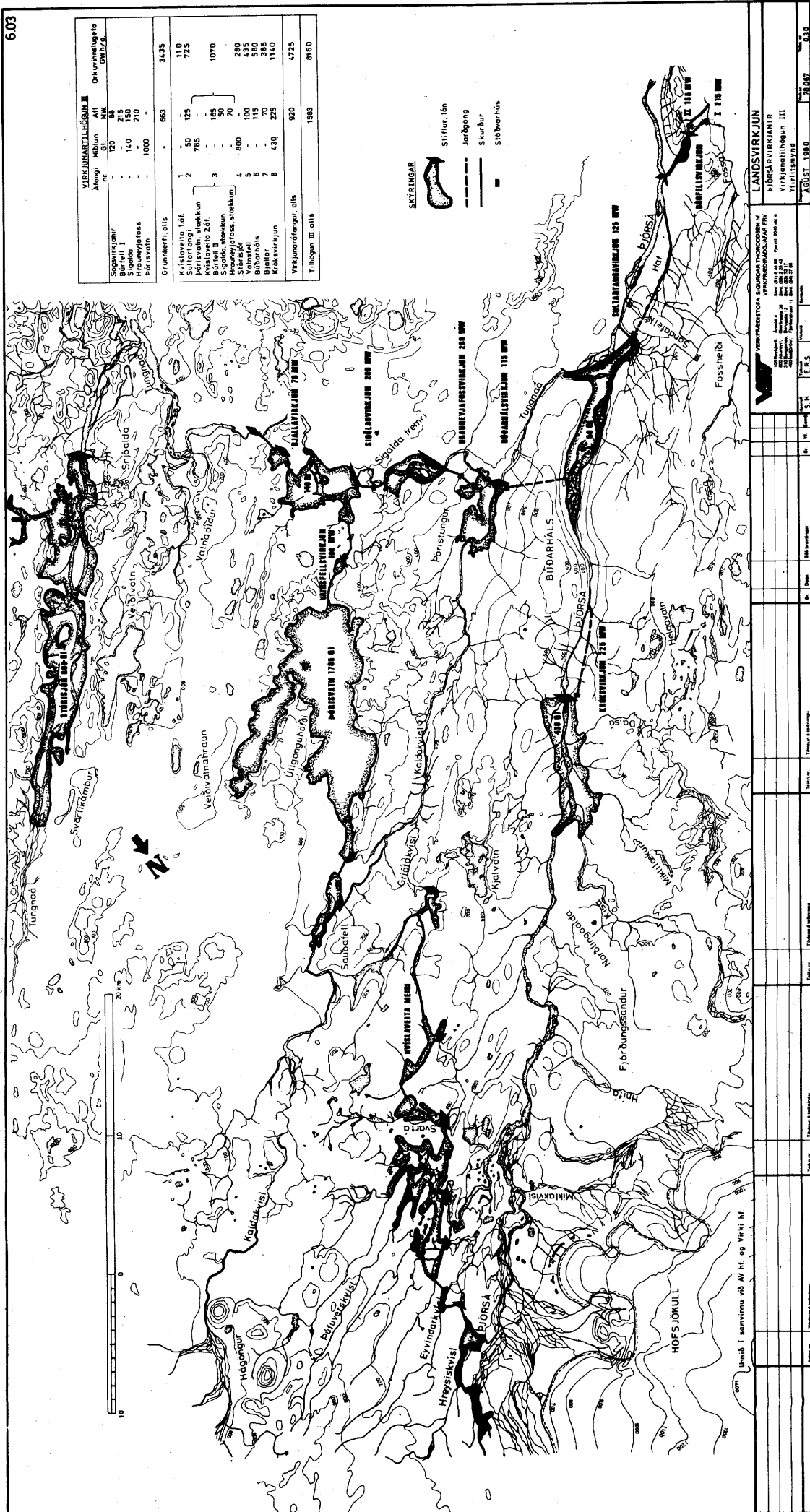
(1) : Stofnkostnaður á orkueiningu kr/kWh/a.

Orkuverð við stöðvarvegg í kr/kWh:

(2) : Við vöxt markaðarins um 100 GWh/a/a.

(3) : Við fullnýtingu strax.

Á mynd 2 eru þessar virkjanahugmyndir sýndar.



VIKJANMARTILLÖGUN III

| Afangi | MIBÚN nr. | MIBÚN GI. | MW | Orkusælgæði GW/h/2 |
|--------------------------|-----------|-----------|------|--------------------|
| Sogavirkjanir | - | 120 | 215 | - |
| Sigða I | - | 16,0 | 150 | - |
| Þrauneyfloss þerisvahn | - | 1000 | 210 | - |
| Grænæfelli | - | - | 663 | 34,35 |
| Veiðivættir 16f. | 1 | - | - | 110 |
| Sultartunga | 2 | 50 | 125 | 725 |
| Þerisvahn, stækkun | - | 785 | - | - |
| Kvítavættir 26f | 3 | - | 165 | 1070 |
| Sigða, stækkun | - | - | 50 | - |
| Þrauneyfloss, stækkun | 4 | 600 | 70 | 280 |
| Súrsngill | 5 | - | 100 | 435 |
| Báðarhóls | 6 | - | 115 | 580 |
| Bjallur | 7 | - | 70 | 160 |
| Káskavirgiljun | 8 | 431 | 225 | 1160 |
| Virkjanir í fangor, alls | - | - | 920 | 4725 |
| Tilþingun III, alls | - | - | 1563 | 8160 |

SKYFIRINGAR
 Stíflur, lán
 Jarðvegng
 Skurður
 Stöðvarnús

LANDSVIRKJUN
 ÞJÓRSÁRVIRKJANIR
 Virkjanartilhögun III
 Veiðivættir

| Virki | Dagur | Stærð | Stærð | Stærð |
|-----------|------------|-------|-------|-------|
| Virki I | 22.08.1980 | 120 | 215 | 110 |
| Virki II | 22.08.1980 | 16,0 | 150 | 150 |
| Virki III | 22.08.1980 | 1000 | 210 | 210 |

AGUST 1980 76.007 0,39

Mynd 2 Virkjanahugmyndir á Þjórsár- Tungnaársvæðinu. Mynd úr skýrslu Almennu verkfræðistofunnar hf. o. fl. 1980.

Ef lítið er á stofnkostnað á orkueiningu sést að hann er lægstur fyrir Búðarhálsvirkjun eða um 84 % af stofnkostnaði Bjallavirkjunar á orkueiningu. Stofnkostnaður Bjalla- og Króksvirkjunar á orkueiningu er aftur á móti svipaður. Reiknað orkuverð Búðarhálsvirkjunar við stöðvarvegg er lægst eða um 90% af verðinu frá Bjallavirkjun, og er þá miðað við svipaðan vöxt markaðarins og gert er ráð fyrir í raforkuspá Orkusparnefndar í tilfellinu að engin aukning verði í orkufrekum iðnaði. Sá vöxtur nemur rúmum 100 GWh/a/a (meðaltal til aldamóta um 130 GWh/a/a skv. orkuspá). Reiknað orkuverð frá Króksvirkjun við þessa aukningu markaðarins er um 30 % herra en frá Bjallavirkjun og um 44 % herra en frá Búðarhálsvirkjun. Þessar tölur benda til þess að Króksvirkjun geti því aðeins orðið samkeppnisfær við Bjallavirkjun að til komi stórnotandi sem nýtir framleiðslugetu virkjunarinnar að stórum hluta.

2.2 Virkjanir í Efri-Hvítá

Á árinu 1977 kom út skýrsla á vegum Orkustofnunar, "Hvítárvirkjanir I. Samanburðaráætlun um nýtingu fallsins frá Hvítárvatni niður fyrir Haukholt", og var hún unnin af Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen sf.. Upplýsingar um Hvítárvirkjanir eru fengnar úr þeirri skýrslu, en þar er könnuð ferns konar heildartilhögun á nýtingu rennslis Efri-Hvítár. Tafla 5 sýnir nokkrar stærðir þessara kosta og á mynd 3 er virkjanartilhögun sýnd.

Í tilhögun I og II er rennslíð um Gullfoss virkjað, en í tilhögun III og IV er því sleppt. Þó svo að virkjað hafi verið framhjá Gullfossi yrði nokkuð rennslí um fossinn, m. a. veitir Sandvatnsveita nokkru rénnslí þangað.

Aðalmiðlunin fyrir virkjanir í Efri-Hvítá er í Hvítárvatni og er Ábóti við útfallið frá þessari miðlun. Hún þarf því að koma í gagnið með fyrstu virkjun í ánni, og er því eðlilegt að líta svo á að Ábóti verði fyrsta skrefið í virkjun Efri-Hvítár. Kostnaður við Sandvatnsveitu er einnig látinn koma samfara miðluninni, en veitunni er m. a. ætlað að auka rennslíð um Gullfoss. Miðlun í Hvítárvatni hefur áhrif á rennslíð um fossinn og er veitan tímasett samtímis miðluninni, en það er óhagkvæmasta tímasetningin fyrir virkjanirnar. Ef fallið um Gullfoss verður ekki virkjað má vera að veitan sé óþörf.

Fyrir hverja tilhögun eru reiknaðar samtalsstölur, og er þá

gert ráð fyrir að virkjanir séu byggðar hver á fætur annari í þeirri röð sem sýnd er í töflunni.

Tafla 5 Virkjunarkostir í Efri- Hvítá.

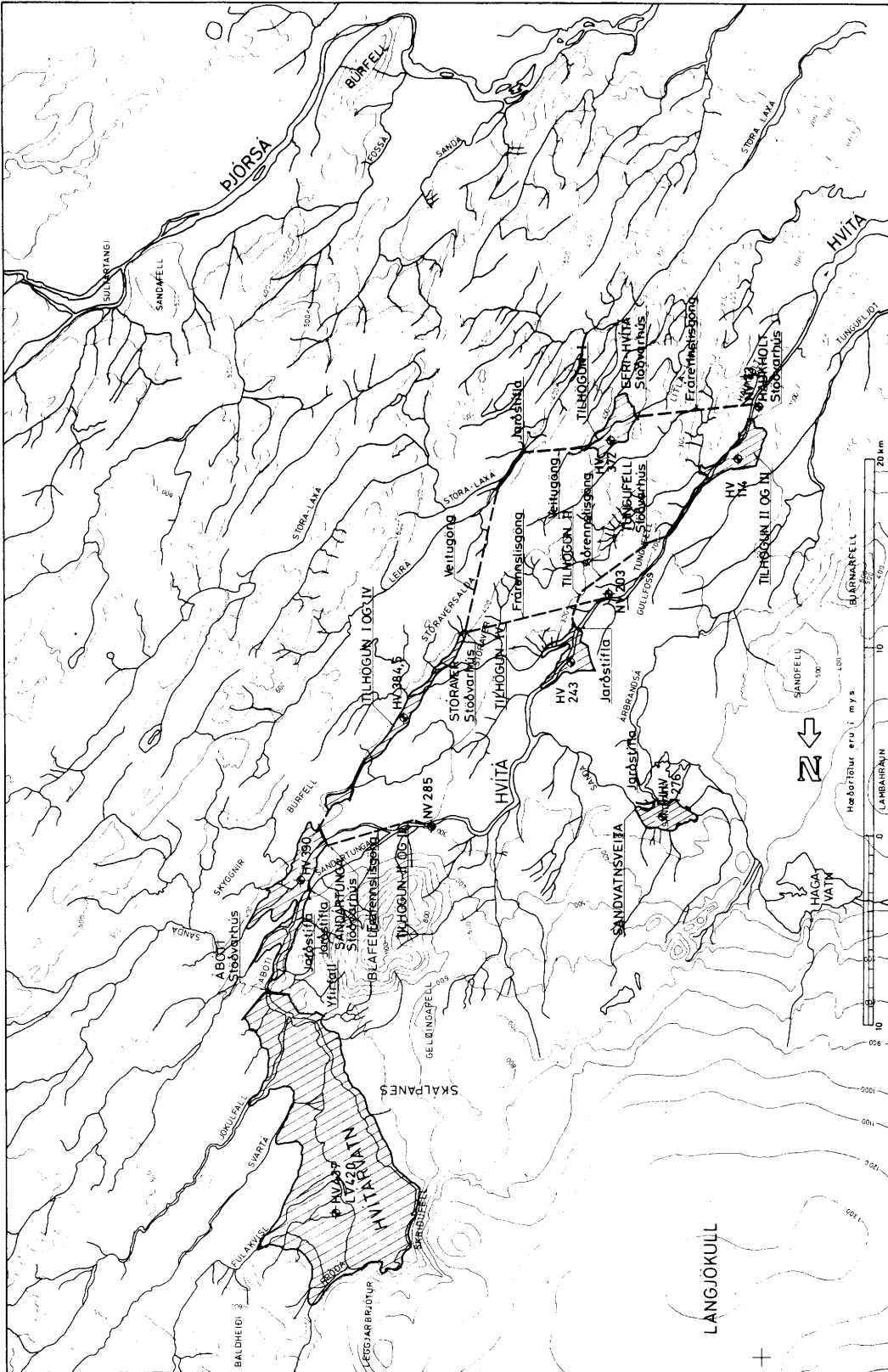
| Kostur | | Afl | Orku- máttur | Stofn- kostnaður | I | Afleiddar stærðir | | |
|--------|----------------|-----|-----------------|---------------------|---|----------------------|------|------|
| | | MW | GWh/a | Mkr | I | (1) | (2) | (3) |
| I | Ábóti | 39 | 234 | 1050 | I | | | |
| | Sandvatnsveita | | | 60 | I | 4,7 | 0,49 | 0,45 |
| | Efri-Hvítá | 368 | 2210 | 5090 | I | 2,3 | 0,48 | 0,22 |
| | Samtals | 407 | 2444 | 6200 | I | 2,5 | 0,50 | 0,24 |
| II | Ábóti | 39 | 234 | 1050 | I | | | |
| | Sandvatnsveita | | | 60 | I | 4,7 | 0,49 | 0,45 |
| | Sandártunga | 109 | 656 | 1580 | I | 2,4 | 0,29 | 0,23 |
| | Tungufell | 179 | 1075 | 2500 | I | 2,3 | 0,33 | 0,22 |
| | Haukholt | 60 | 358 | 860 | I | 2,4 | 0,26 | 0,23 |
| | Samtals | 387 | 2323 | 6050 | I | 2,6 | 0,37 | 0,25 |
| III | Ábóti | 36 | 217 | 920 | I | | | |
| | Sandvatnsveita | | | 60 | I | 4,5 | 0,46 | 0,42 |
| | Sandártunga | 105 | 631 | 1550 | I | 2,5 | 0,30 | 0,23 |
| | Haukholt | 57 | 344 | 850 | I | 2,5 | 0,27 | 0,23 |
| | Samtals | 198 | 1192 | 3380 | I | 2,8 | 0,34 | 0,27 |
| IV | Ábóti | 38 | 226 | 980 | I | | | |
| | Sandvatnsveita | | | 60 | I | 4,6 | 0,47 | 0,43 |
| | Stóraver | 189 | 1136 | 2960 | I | 2,6 | 0,38 | 0,25 |
| | Haukholt | 59 | 351 | 860 | I | 2,4 | 0,26 | 0,23 |
| | Samtals | 286 | 1713 | 4860 | I | 2,8 | 0,40 | 0,27 |

(1) : Stofnkostnaður á orkueiningu kr/kWh/a.

Orkuverð við stöðvarvegg í kr/kWh:

(2) : Við vöxt markaðarins um 100 GWh/a/a.

(3) : Við fullnýtingu strax.



| | | | |
|---|---|---|---|
| | | ORKUSTOFNUN | |
| | | HVÍTÁVIRKJANIR | |
| HI RÁÐGEFANDI VERKFRÆÐINGAR FRV Hversmanntal: 16 Sími: 01 24 48 Faxnúmer: 2400 01 4 Stofnan: 16 Sími: 01 24 48 Faxnúmer: 2400 01 4 Borg: 16 Sími: 01 24 48 Faxnúmer: 2400 01 4 Stofnan: 16 Sími: 01 24 48 Faxnúmer: 2400 01 4 | | YFIRLITSKORT MÄSKALA: 1:50 000 DÁTÍÐI: MAJ 1977 | |
| TEKN. NR. TILVINGA Á TERNINGU | SR. YF. SAM. SR. DAGS. SR. LÓG. SR. DV. SR. ST. SR. TILVINGA Á TERNINGU | SR. V. SR. H. SR. S. SR. T. SR. N. SR. E. SR. S. SR. V. | SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 |
| | SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 | | SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 SR. 1:50 000 |

Mynd 3 Tilhögun virkjana í Efri-Hvítá. Mynd fengin úr skýrslu Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen sf. 1977.

Heildarstofnkostnaður á orkueiningu er mjög svipaður fyrir allar þessar fjórar leiðir, en þó er hann lægstur í tilhögun I eða um 89 % af stofnkostnaði á orkueiningu tilhögunar III og IV. Í þessu sambandi ber að nefna að orkumáttur í tilhögun III er einungis um helmingur af orkumætti I og II, en fyrir IV er þetta hlutfall um 70 %. Í tilhögun III og IV er fallið um Gullfoss ekki virkjað, en með því virðist mjög hagkvæmum orkuöflunarmöguleika fórnað.

Tilhögun I kemur ekki til greina nema svo til öll framleiðslugetan (um 2400 GWh/a) verði nýtt til stóriðju, en II gæti hentað vel fyrir uppbyggingu almenna markaðarins og nokkra stóriðju. Því væri eðlilegt að taka tilhögun II fram yfir I. Í leiðum III og IV er ekki gert ráð fyrir að rennslið við Gullfoss verði virkjað. Tilhögun III gæti hentað vel fyrir uppbyggingu almenna markaðarins, en orkumáttur hennar er rúmum 500 GWh/a minni en tilhögunar IV. Miðað við aukningu almenna markaðarins er orkuverð samkvæmt tilhögun IV herra en í tilhögun III. Ef aftur á móti gert er ráð fyrir nokkurri uppbyggingu stóriðju kemur leið IV lítið verr út en III, en með IV fæst eins og áður sagði rúmlega 500 GWh/a meiri orkumáttur, sem gæti orðið mjög hagkvæmur við þessar aðstæður.

Út frá því sem sagt hefur verið hér að framan væri eðlilegast að miða við tilhögun II og IV við frekari samanburð, en það sem óvíst er hvort fallið um Gullfoss verði nokkurn tíma virkjað verður hér miðað við IV.

2.3 Virkjanir á Glámusvæðinu á Vestfjörðum

Á árinu 1977 kom út á vegum Orkustofnunar skýrslan "Vestfjarðavirkjanir. Vatnsfjarðarvirkjun. Frumáætlun. Aðrir valkostir á Glámusvæðinu", unnin af Almennu verkfræðistofunni. Á árinu 1983 kom síðan út hjá Orkustofnun skýrslan "Öryggi í raforkumálum á Vestfjörðum", en í þeirri skýrslu er endurskoðuð áætlunin frá 1977 um Vatnsfjarðarvirkjun og Skötufjarðarvirkjun með nokkuð breyttum forsendum varðandi hagkvæmni veitna og miðlana og uppsett afl. Nokkrar tölur fyrir þessar leiðir eru sýndar í töflu 6.

Tafla 6 Vatnsfjarðarvirkjun.

| | Afl | Orku- | Stofn- | I | Afleiddar | | |
|---------------|--------|-----------|-----------|---|-----------|------|------|
| | máttur | kostnaður | kostnaður | I | stærðir | | |
| | MW | GWh/a | Mkr | I | (1) | (2) | (3) |
| Tilhögun 1977 | 30 | 180 | 1020 | I | 5,7 | 0,57 | 0,53 |
| -- 1977 | 47 | 180 | 1110 | I | 6,2 | | |
| -- 1983 | 26 | 119 | 820 | I | 6,9 | | |

(1) : Stofnkostnaður á orkueiningu kr/kWh/a.

Orkuverð við stöðvarvegg í kr/kWh:

(2) : Við vöxt markaðarins um 100 GWh/a.

(3) : Við fullnýtingu strax.

Orkuverð við stöðvarvegg hefur einungis verið reiknað fyrir tilhögun frá 1977. Nýtingartími virkjunarinnar í þeirri tilhögun er um 6000 klukkustundir á ári. Ef nota á virkjunina sem toppaflstöð við bilanir í raforkukerfinu er ekki hægt að bera hana beint saman við aðra virkjunarkosti með þeim aðferðum sem hér eru notaðar og verður það því ekki gert.

2.4 Virkjun Jökulsáanna í Skagafirði, Giljamúlavirkjun

Á árinu 1982 var unnin á Orkustofnun áætlun um virkjun Jökulsáanna í Skagafirði, "Jökulsár í Skagafirði. Forathugun á virkjunarkostum" og var virkjanalíkan Orkustofnunar (sjá Gunnlaug H. Jónsson 1980) notað við áætlunina. Í áætluninni er litið á ferns konar tilhögun virkjunar sem nefnd er Giljamúlavirkjun, og eru nokkrar stærðir sýndar í töflu 7.

Tafla 7 Giljamúlavirkjun í Skagafirði.

| Tilhögun | Afl MW | Orku- máttur GWh/a | Stofn- kostnaður Mkr | I I | Afleiddar stærðir | | |
|----------|-----------|--------------------------|----------------------------|--------|----------------------|------|------|
| | | | | | (1) | (2) | (3) |
| Ia | 130 | 776 | 3030 | I | 3,9 | 0,49 | 0,37 |
| Ib | 147 | 882 | 3170 | I | 3,6 | 0,47 | 0,34 |
| IIa | 153 | 918 | 3780 | I | 4,1 | 0,55 | 0,39 |
| IIb | 171 | 1021 | 3910 | I | 3,8 | 0,53 | 0,36 |

(1) : Stofnkostnaður á orkueiningu kr/kWh/a.

Orkuverð við stöðvarvegg í kr/kWh:

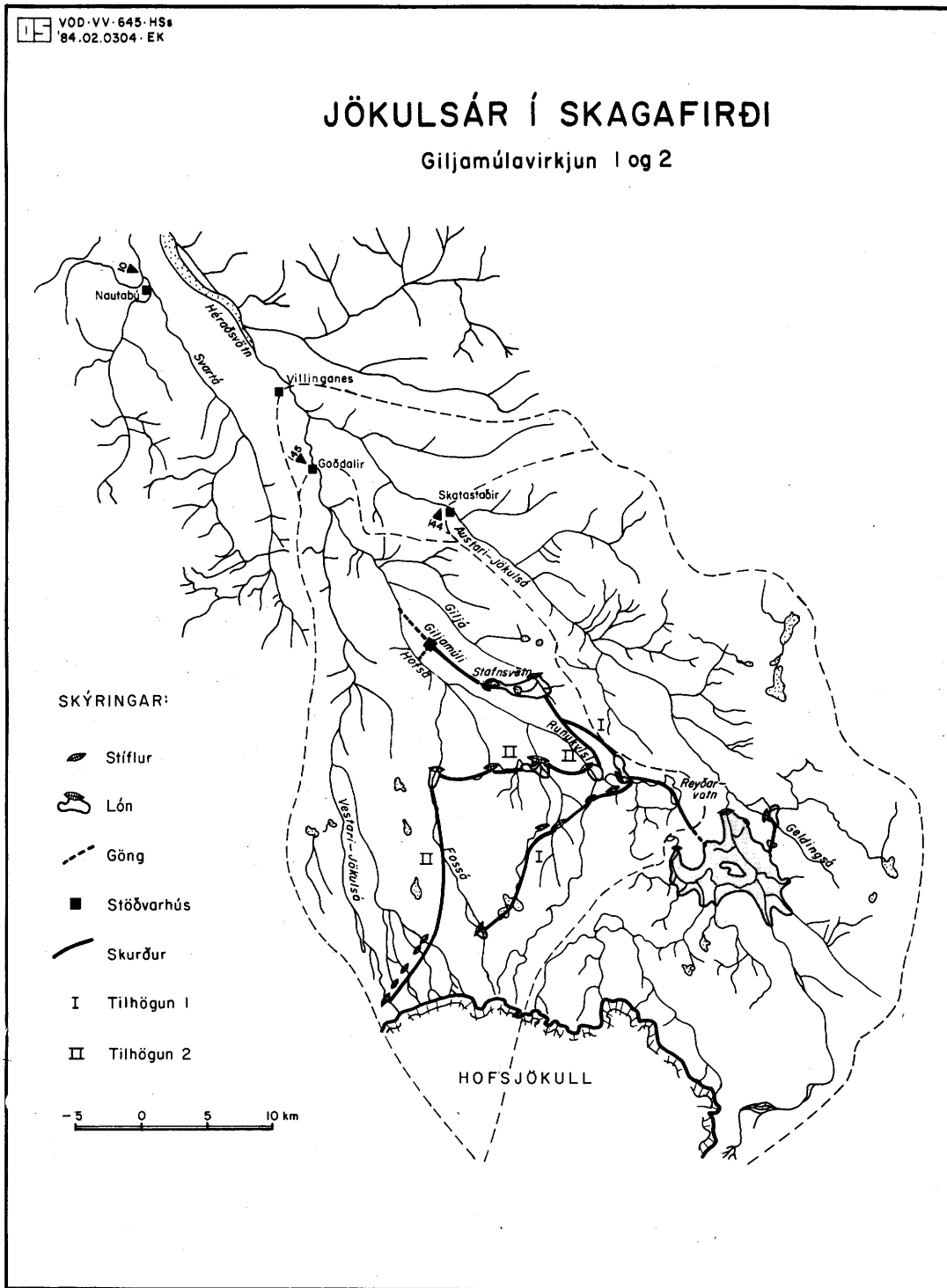
(2) : Við vöxt markaðarins um 100 GWh/a.

(3) : Við fullnýtingu strax.

Eini munurinn á tilvikum a og b er sá að gert er ráð fyrir mismiklu rennsli í miðlanir, en talið er eðlilegra að miða við b. Samkvæmt reikningum yrði orkuverð herra samkvæmt tilhögun II en I, en tilhögun II gefur meiri orkumátt. Stofnkostnaður á orkueiningu fyrir umframorku sem tilhögun IIb gæfi miðað við tilhögun Ib yrði:

$$(3910 - 3170)/(1021 - 882) = 5,32 \text{ kr/kWh/a}$$

Stofnkostnaður á orkueiningu fyrir umframorkuna er því nokkuð hár og verður hér miðað við tilhögun Ib, en á mynd 4 er tilhögun virkjana sýnd.



Mynd 4 Tilhögun Giljamúlavirkjunar.

3 KOSTIR Á FORATHUGUNARSTIGI

Í skýrslunni "Fimm ára áætlun um rannsóknir vegna vatnsaflsvirkjana" eru eftirtaldir kostir taldir vera á forathugunarstigi.

Tafla 8 Virkjunarkostir vatnsorku á forathugunarstigi.

| X.Y | Kostur | Nýjasta áætlun |
|-----|---------------------|------------------------------|
| 2.1 | Neðri-Þjórsá | OS 1981 |
| 2.4 | Botnsá | Gamlar áætlanir |
| 2.1 | Ófeigsfjarðarheiði | OS 1983 |
| 2.3 | Skjálfandafljót | VST 1976 |
| 2.2 | Jökulsár á NA-landi | AV, Virkir, VST 1978 |
| 1.0 | Austfirðir | Gamlar og lauslegar áætlanir |
| 1.0 | Síðuvötn | |
| 1.0 | Markarfljót | |

Taka ber eftirfarandi fram um þessa kosti:

- Fyrir árið 1970 voru gerðar ýmsar áætlanir um virkjun Botnsár í Hvalfirði. Þessar áætlanir eru orðnar nokkuð gamlar og niðurstöður þeirra vart marktækar. Upp úr 1970 var einnig gerð áætlun um raforkuver í Botnsá þar sem gert var ráð fyrir að dæla vatni upp í lón (Hvalvatn), en ekki er vitað hver ávinningur raforkuferfisins yrði af slíkri stöð í dag. Því verður ekki fjallað meira um Botnsá hér.
- Ekki verður neitt litið á þá kosti sem eru við upphaf forathugunar (kennitala byrjar á 1), þar sem aðeins eru fyrir hendi mjög lauslegar hugmyndir um virkjanir á þessum stöðum og varla nokkrar áreiðanlegar kostnaðartölur.

3.1 Neðri-Þjórsá

Á árinu 1981 var gerð athugun á virkjunarkostum í Neðri-Þjórsá með virkjanalíkani Orkustofnunar. Niðurstöður þessarar athugunar voru birtar í skýrslunni "Þjórsár-

virksjanir. Forathugun á virksjun Þjórsár neðan Búrfells". Verður hér stuðst við þessa skýrslu, en nokkrar stærðir kosta eru sýndar í töflu 9.

Tafla 9 Virksjunarkostir í Neðri-Þjórsá (5000 stunda nýting á ári).

| | Kostur | Afl MW | Orku- máttur GWh/a | Stofn- kostnaður Mkr | I I | Afleiddar stærðir | | |
|-----|----------------|-----------|--------------------------|----------------------------|--------|----------------------|------|------|
| | | | | | | (1) | (2) | (3) |
| I | Núpur | 157 | 795 | 3020 | I | 3,8 | 0,48 | 0,36 |
| | Búðafoss | 115 | 590 | 2650 | I | 4,5 | 0,53 | 0,42 |
| | Urriðafoss | 179 | 920 | 3000 | I | 3,3 | 0,44 | 0,31 |
| | Samtals | 451 | 2305 | 8670 | I | 3,8 | | 0,35 |
| II | Skarðsvirksjun | 180 | 924 | 3380 | I | 3,7 | 0,49 | 0,34 |
| | Holtavirksjun | 336 | 1721 | 6470 | I | 3,8 | 0,66 | 0,35 |
| | Samtals | 516 | 2645 | 9850 | I | 3,7 | | 0,35 |
| III | Skarðsvirksjun | 180 | 928 | 3380 | I | 3,6 | 0,49 | 0,34 |
| | Holtavirksjun | 375 | 1927 | 7090 | I | 3,7 | 0,69 | 0,35 |
| | Samtals | 555 | 2855 | 10470 | I | 3,7 | | 0,35 |

(1) : Stofnkostnaður á orkueiningu kr/kWh/a.

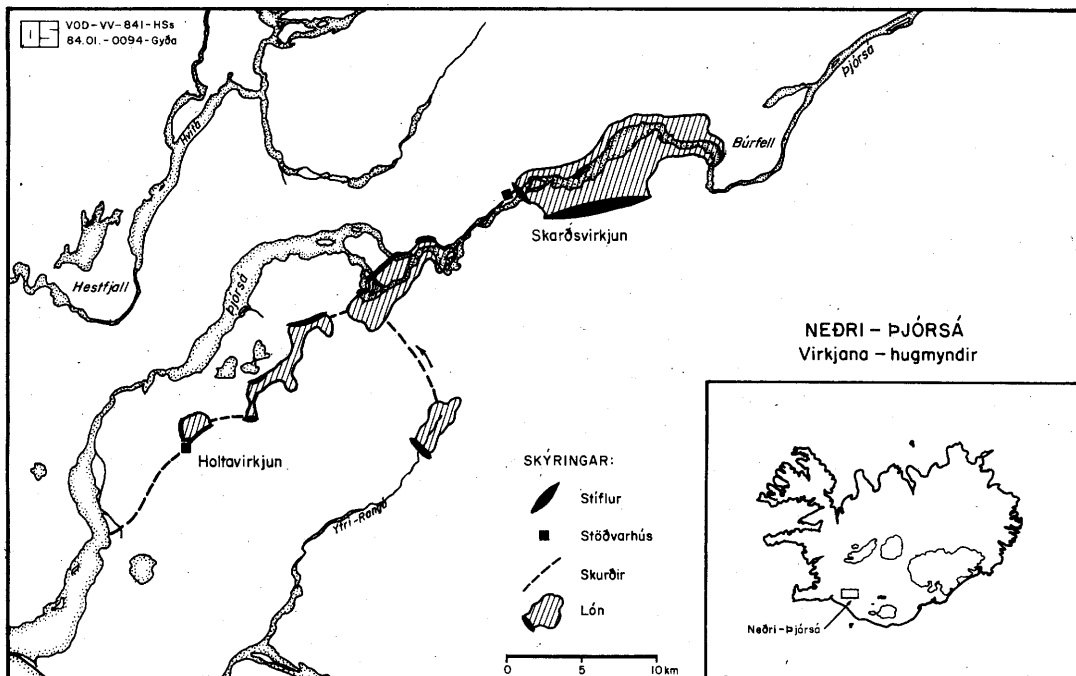
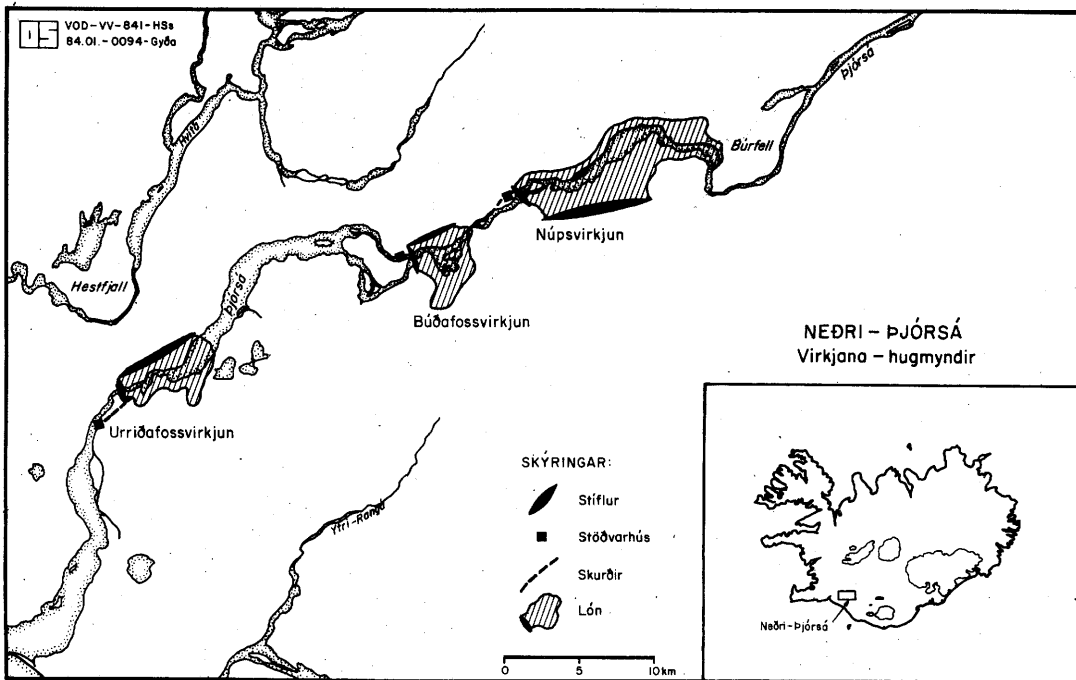
Orkuverð við stöðvarvegg í kr/kWh:

(2) : Við vöxt markaðarins um 100 GWh/a/a.

(3) : Við fullnýtingu strax.

Tilhögun III er að öllu leyti eins og tilhögun II nema hvað gert er ráð fyrir veitu úr Ytri-Rangá í III, en hún nýtist Holtavirksjun. Þessar leiðir eru sýndar á mynd 5.

Samkvæmt töflunni er stofnkostnaður á orkueiningu mjög svipaður fyrir allar leiðirnar. Ef stór hluti af orkumætti þessara virksjana er nýttur fyrir stóriðju ættu þær að vera álíka hagkvæmar, en tilhögun I hentar best við hægari vöxt markaðarins. Orkumáttur tilhögunar I er minni en hinna og er munurinn 300 til 500 GWh/a. Því tapast nokkur orkumáttur við þá tilhögun. Erfitt er að velja á milli þessara leiða



Mynd 5 Tilhögun virkjana í Neðri-Þjórsá.

út frá þessum reikningum, en líklegt er að atriði eins og umhverfisáhrif og jarðskjálftahætta hafi afgerandi áhrif á val á tilhögun.

Við samanburð milli virkjunarkosta hér að aftan verður miðað við tilhögun I, þó svo að ekki verði úr því skorið hvort það sé eðlilegasta tilhögunin. Í töflu 9 er miðað við um 5000 klst. nýtingartíma á ári, en í samanburði milli kosta er hér miðað við 6000 klst. nýtingartíma. Í töflu 10 hefur því stofnkostnaður á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg verið reiknað fyrir þann nýtingartíma.

Tafla 10 Virkjun Neðri-Þjórsár, tilhögun I. Stofnkostnaður á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg.

| Kostur | Stofnkostnaður á orkueiningu kr/kWh/a | Orkuverð kr/kWh | |
|------------|---|-----------------------|---------------------|
| | | Vöxtur 100 GWh/a/a | Fullnýting strax |
| Núpur | 3,6 | 0,46 | 0,34 |
| Búðafoss | 4,2 | 0,50 | 0,39 |
| Urriðafoss | 3,2 | 0,42 | 0,30 |

3.2 Ófeigsfjarðarheiði

Orkustofnun hefur gert athugun á virkjunarkostum á Ófeigsfjarðarheiði og er niðurstaða þeirrar athugunar birt í skýrslunni "Ófeigsfjarðarheiði. Forathugun á virkjunarkostum" frá árinu 1983. Upplýsingar um virkjanir á þessu svæði eru fengnar úr þeirri skýrslu, en í töflu 11 eru nokkrar stærðir virkjunarkosta sýndar.

Mismunandi tilhögun Hvalárvirkjunar felst í breyttum miðlunum og veitum. Á töflu 11 sést að tilhögun III af Hvalárvirkjun virðist einna hagkvæmust og verður miðað við þá tilhögun hér. Til samanburðar þarf að finna stofnkostnað á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg fyrir 6000 klst. nýtingartíma, og eru niðurstöður þeirra reikninga sýndar í töflu 12.

Tafla 11 Virkjunarkostir á Ófeigsfjarðarheiði (um 5000 stunda nýting á ári).

| | Kostur | Afl MW | Orku- máttur GWh/a | Stofn- kostnaður Mkr | I I I | Afleiddar stærðir | | |
|-----|---------------|-----------|--------------------------|----------------------------|-------------|----------------------|------|------|
| | | | | | | (1) | (2) | (3) |
| | Skúfnavatnav. | 14 | 73 | 570 | I | 7,8 | 0,75 | 0,73 |
| I | Hvalárvirkjun | 39 | 192 | 1330 | I | 6,9 | 0,70 | 0,65 |
| II | Hvalárvirkjun | 47 | 233 | 1270 | I | 5,5 | 0,56 | 0,51 |
| III | Hvalárvirkjun | 44 | 218 | 1140 | I | 5,2 | 0,54 | 0,49 |

(1) : Stofnkostnaður á orkueiningu kr/kWh/a.

Orkuverð við stöðvarvegg í kr/kWh:

(2) : Við vöxt markaðarins um 100 GWh/a/a.

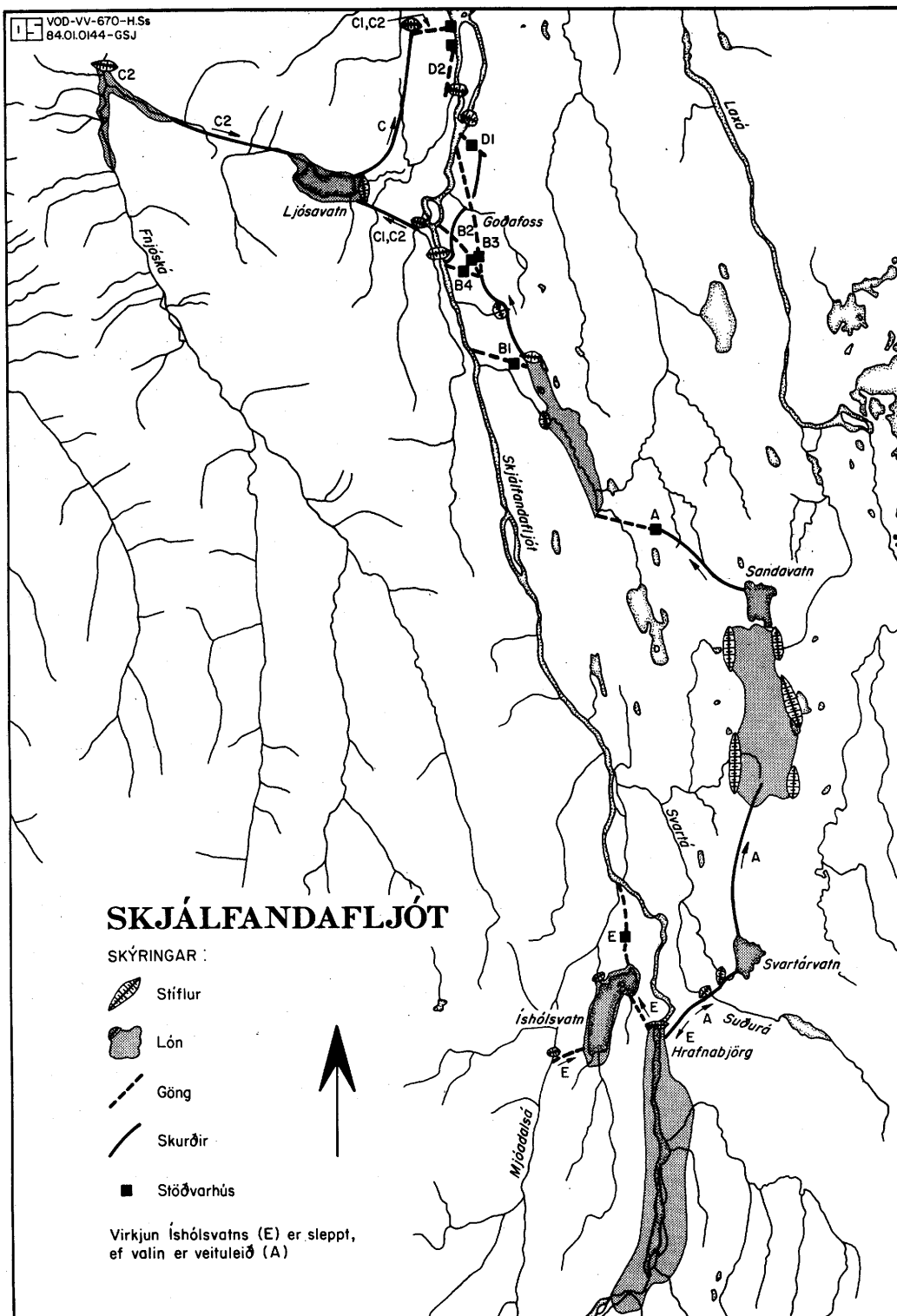
(3) : Við fullnýtingu strax.

Tafla 12 Hvalárvirkjun III og Skúfnavatnavirkjun. Stofn-
kostnaður á orkueiningu og orkuverð við
stöðvarvegg.

| Kostur | Stofnkostnaður á orkueiningu kr/kWh/a | Orkuverð kr/kWh | |
|---------------|---|-----------------------|---------------------|
| | | Vöxtur 100 GWh/a/a | Fullnýting strax |
| Skúfnavatnav. | 7,5 | 0,73 | 0,71 |
| Hvalárvirkjun | 5,1 | 0,52 | 0,47 |

3.3 Virkjanir í Skjálfandafljóti

Á fyrri hluta 8. áratugarins var nokkuð unnið að athugunum á virkjunarkostum í Skjálfandafljóti, og gerðu tvær verkfræðistofur áætlanir um virkjanir á þessu svæði, þ. e. Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsens sf. og Virkir hf.. Nýjasta áætlunin er frá árinu 1976, unnin á Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen sf. fyrir Orkustofnun. Þar er nefnd lausleg könnun sem gerð var á heildarnýtingu rennslis Skjálfandafljóts, þar sem talið er að fá megi á hagkvæman hátt orkumátt á bilinu 1270 GWh/a til 1560 GWh/a út úr



Mynd 6 Virkjunarkostir í Skjálfandafljóti. Sjá skýrslu Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen sf. 1976.

heildarnýtingu rennslisins (sjá einnig skýrslu Orkustofnunar "Virkjun Skjálfafljóts. Samanburðaráætlanir. Áætlun um virkjun við Íshólsvatn." Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen sf. 1973). Talið var að ekki fengjust eins hagkvæmar virkjanir út úr þessari heildarnýtingu eins og með virkjun Skjálfafljóts við Íshólsvatn, sem nýtir að vísu ekki nema takmarkaðan hluta fallsins til sjávar. Því hefur megináhersla verið lögð á að kanna virkjun við Íshólsvatn og gerðar hafa verið nokkrar áætlanir um þann kost, en ekki eru fyrir hendi áætlanir um hvernig nýta megi það fall sem þá er eftir til sjávar og verður að telja það nokkurn galla á þessum áætlunum. Á mynd 6 eru þessar leiðir sýndar.

Um þessar mundir er verið að vinna að athugun á virkjunarkostum í Skjálfafljóti með virkjanalíkani Orkustofnunar, og ætti því að fást góður samanburður við aðrar þær áætlanir sem unnar hafa verið með líkaninu á síðustu árum. Í þessari skýrslu verður byggt á niðurstöðum athugunar VST frá 1976 og einungis tekin með virkjun við Íshólsvatn, þar sem áætlanir um aðra virkjunarkosti í Skjálfafljóti eru mjög svo lauslegar. Í töflu 13 eru sýndar nokkrar stærðir þessa virkjunarkosts samkvæmt áætlun VST.

Tafla 13 Virkjun við Íshólsvatn.

| Afl Orkumáttur | | Stofnkostnaður | | Orkuverð kr/kWh | |
|----------------|-------|----------------|----------|--------------------|------------------|
| MW | GWh/a | Mkr | kr/kWh/a | Vöxtur 100 GWh/a/a | Fullnýting strax |
| 63 | 375 | 1470 | 3,9 | 0,43 | 0,37 |

3.4 Virkjanir í Jökulsánum á Norðausturlandi

Á árinu 1978 kom út á vegum Orkustofnunar og Rafmagnsveitna ríkisins skýrslan "Austurlandsvirkjun. Forathugun virkjana á vatnasviðum Jökulsár á Fjöllum, Jökulsár á Brú og Jökulsár í Fljótsdal", unnin af Almennu verkfræðistofunni hf., Virki hf. og Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen hf. Þar er sett fram tvennskonar tilhögun virkjunar Jökulsáanna á Norðausturlandi, en önnur tilhögunin kemur vart til greina í dag þar sem hún gerir ekki ráð fyrir að Jökulsá í Fljótsdal verði virkjuð sérstaklega. Virkjun Jökulsár í

Fljótsdal, Fljótsdalsvirkjun, hefur verið verkhönnuð og stefnt er að virkjun þar í náninni framtíð. Í hinni tilhöguninni er aftur á móti gert ráð fyrir að Jökulsá í Fljótsdal sé virkjuð sérstaklega og verður hér miðað við þá tilhögun. Í töflu 14 eru sýndar nokkrar einkennisstærðir virkjunarkosta samkvæmt þessari tilhögun, sem jafnframt er sýnd á mynd 7.

Tafla 14 Virkjunarkostir í Jökulsánum á Norðausturlandi.

| Kostur | Afl MW | Orku- máttur GWh/a | Stofn- kostnaður Mkr | I I I | Afleiddar stærðir | | |
|---------------|-----------|--------------------------|----------------------------|-------------|----------------------|------|------|
| | | | | | (1) | (2) | (3) |
| Hafrahvammav. | 364 | 1710 | 5900 | I | 3,5 | 0,61 | 0,32 |
| Brúarvirkjun | 625 | 3620 | 8170 | I | 2,3 | 0,70 | 0,21 |
| Jökulsárveita | 433 | 3200 | 3630 | I | 1,1 | 0,31 | 0,11 |
| Samtals | 1422 | 8530 | 17700 | I | 2,1 | | 0,20 |

(1) : Stofnkostnaður á orkueiningu kr/kWh/a.

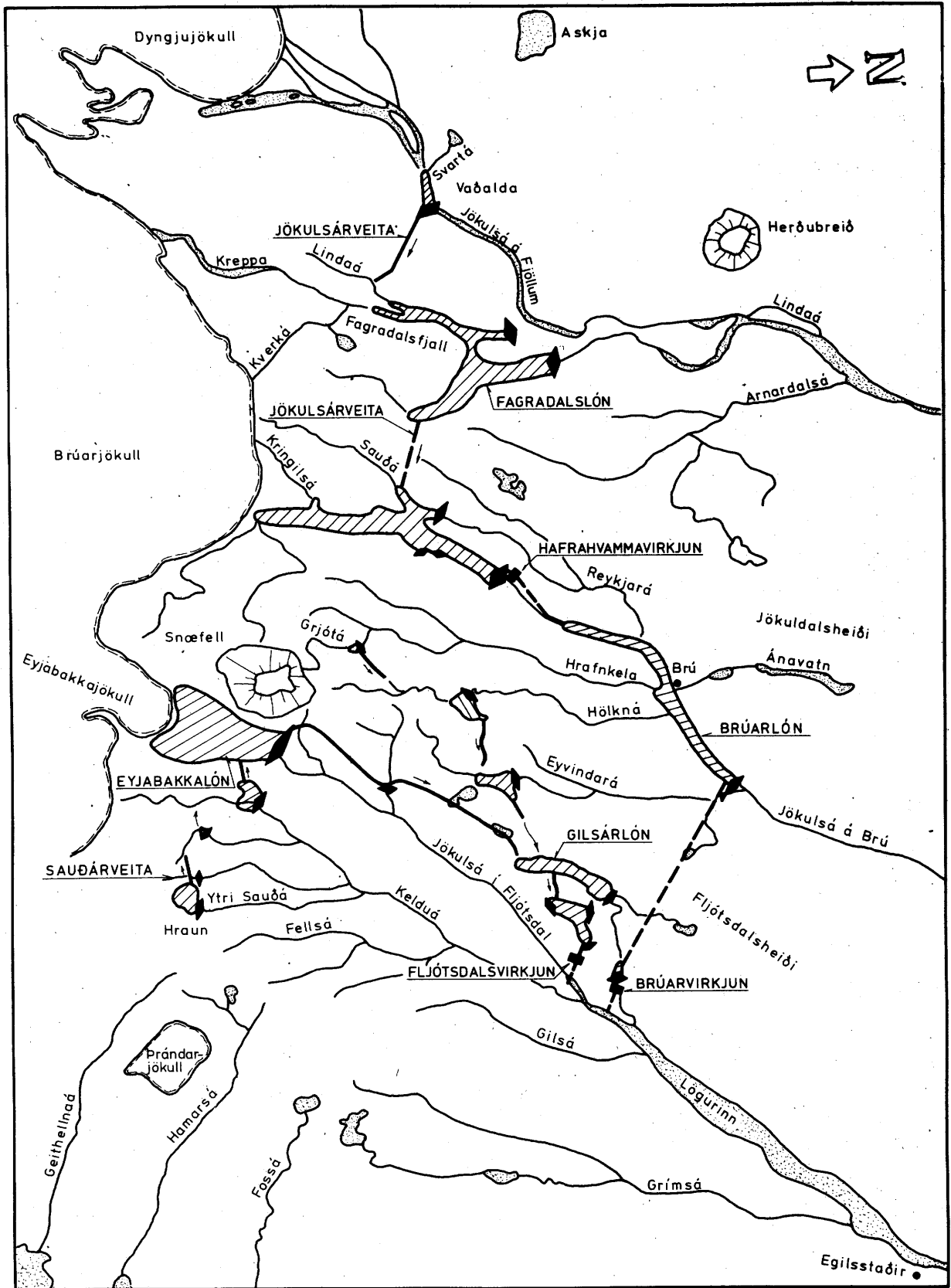
Orkuverð við stöðvarvegg í kr/kWh:

(2) : Við vöxt markaðarins um 100 GWh/a/a.

(3) : Við fullnýtingu strax.

Tölurnar í töflu 14 eru miðaðar við áfangaskiptingu eins og verkfræðistofurnar töldu eðlilega. Í Jökulsárveitu er innifalin uppsetning síðustu vélar í Hafrahvammavirkjun (af fjórum) og síðustu tveggja í Brúarvirkjun (af sex). Eftir að veitt hefur verið jökulvatninu úr Jökulsá á Fjöllum mætti virkja annað rennsli árinna við Hólsfjöll, en í fyrrnefndri skýrslu er talað um að orkumáttur slíkrar virkjunar yrði um 1400 GWh/a en stofnkostnaður nokkuð hár. Einnig mætti virkja Jökulsá á Dal og Jökulsá á Fjöllum sitt í hvoru lagi í árfarvegi sínum og virkja þannig í minni þrepum, en í skýrslunni er það talið mun dýrara.

Hafa verður í huga þegar þessar tölur eru skoðaðar að áfangar verða að koma í þeirri röð sem sýnd er í töflunni. Hafrahvammavirkjun verður því að byggja fyrst, en hún er einnig hlutfallslega dýrust.



TILHÖGUN I

Mynd 7 Tilhögun virðjunarkosta í Jökulsánum á Norðausturlandi. Mynd fengin úr skýrslu Almennu verkfræðistofunnar hf. o. fl. 1978.

4 VIRKJUN JARÐVARMA TIL RAFORKUFRAMLEIÐSLU

Hér á landi hefur jarðvarmi fyrst og fremst verið nýttur til húshitunar, en tiltölulega skammt er síðan nýting hans til raforkuframleiðslu hófst að einhverju marki. Á árinu 1982 framleiddu jarðgufustöðvar um 160 GWh af raforku, en raforkuframleiðslan var alls um 3.600 GWh þannig að hlutur jarðgufustöðva var tæp 4,5 % af heildinni.

Á árinu 1982 kom út skýrsla á Orkustofnun um virkjun jarðvarma til raforkuframleiðslu, "Frumdrög að áætlun um jarðgufustöð í Hengli", unnin af Verkfræðistofu Guðmundar og Kristjáns hf. Þar er gerð áætlun um jarðgufustöð í Henglinum, en í inngangi skýrslunnar er sagt: "Sú skýrsla, sem hér fer á eftir gæti með smátílfæringum átt við hvaða jarðhitasvæði sem er, vegna þess að hún er skrifuð um nánast óþekkt jarðhitasvæði. Hún hefur einnig almennt gildi, þar eð í henni er leitast við að draga fram reynsluatríði frá Kröflu og Svartsengi,...". Ætla má að mikil óvissa sé í niðurstöðum áætlunarinnar þar sem hún byggir að litlu leyti á rannsóknnum á virkjunarstað.

Í maí 1983 kom út á vegum Rafmagnsveitna ríkisins skýrslan "Kröfluvirkjun. Athugun á hagkvæmni frekari orkuöflunarframkvæmda", unnin af Verkfræðistofunni Streng. Reynt verður að nota þær upplýsingar sem þar koma fram til lauslegs samanburðar á jarðgufustöðvum og vatnsaflsvirkjunum.

4.1 Jarðgufustöð í Hengli

Í fyrrnefndri skýrslu Orkustofnunar er gerð áætlun um stöð með einþrýsti- og tvíþrýstikerfi, en hér verður miðað við stofnkostnað stöðvar með einþrýstikerfi þar sem bæði ódýrasta og dýrasta tilvik er af þeirri gerð. Í töflu 15 er sýndur áætlaður stofnkostnaður jarðgufustöðvar samkvæmt fyrrnefndri skýrslu.

Í töflunni er sýndur stofn- og rekstrarkostnaður miðað við mismunandi borárangur, og er það gert þar sem mikil óvissa ríkir um hann, en eins og fram kemur í töflunni hefur hann mikil áhrif á kostnaðinn.

Tafla 15 Stofn- og reksrarkostnaður jarðgufustöðvar.

| Kostur | Afl MW | Borárangur+ kg/s | Stofnkostnaður Mkr | Rekstrarkostnaður Mkr | % af stofnk. |
|-------------|--------|------------------|--------------------|-----------------------|--------------|
| Hengill 2 * | 30 | 20 | 2170 | 87 | 4,0 |
| | | 40 | 1540 | 54 | 3,5 |
| | | 80 | 1230 | 38 | 3,1 |
| Hengill 2 * | 50 | 20 | 3280 | 136 | 4,1 |
| | | 40 | 2250 | 83 | 3,7 |
| | | 80 | 1730 | 56 | 3,2 |

+ Heildarrennsli.

Orkumáttur jarðgufustöðvarinnar er ekki nefndur í töflunni þar sem ekki er svo auðvelt að áætla hann. Uppsett afl í virkjunum ákvarðast af þeim markaði sem þær þjóna. Virkjanir verða að geta fylgt sveiflum í raforkunotkuninni, en auk þess þarf varaafli að vera fyrir hendi. Þar sem allir þættir jarðgufustöðvar eru hannaðir miðað við mesta álag og orkugjafinn á ekki að vera takmarkandi, ætti ekki að vera vandamál að reka slíkar stöðvar með 8000 stunda nýtingu, ef viðhald og bilanir leyfa það (að vísu getur nýtingin haft áhrif á endingu svæðisins). Þar á móti kemur að ef jarðgufustöð er rekin með þetta góðri nýtingu þarf að auka uppsett afl í öðrum virkjunum en það eykur kostnaðinn við þær. Eðlilegt er að jarðgufustöð standi undir kostnaði við uppsetningu afls sem samsvarar þeim markaði sem hún á að þjóna, hvort sem aflíð yrði sett upp í jarðgufustöðinni sjálfri eða í öðrum virkjunum. Hagkvæmast er að aflíð sé sett þar upp sem jaðarkostnaður þess er lægstur.

Í töflu 16 er sýndur stofnkostnaður jarðgufustöðvar í Henglinum á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg fyrir bæði 6000 klst. og 8000 klst. nýtingu á ári, en fyrir hærri nýtingartímann verður að hafa í huga fyrirvarana hér að framan. Tölur fyrir 8000 stunda nýtingu á ári má alls ekki bera saman við tölur um vatnsaflsvirkjanir sem miðaðar eru við annan nýtingartíma.

Hægt á að vera að áfangaskipta jarðgufuvirkjun mjög auðveldlega, en með því fæst lægra orkuverð eins og fram kemur í töflu 16. Gert er ráð fyrir að áfangaskipta megi jarðgufuvirkjun í Henglinum á þann hátt að fyrri áfangi

hafi 50 % af orkumætti kostsins og 65 % af stofnkostnaði, en seinni áfangi 50 % orkumáttar og 35 % stofnkostnaðar. Hér að framan hefur ekki verið gert ráð fyrir að áfangaskipta vatnsaflsvirkjunum, en vissulega er ætíð einhver áfangaskipting möguleg, en í flestum vatnsaflsvirkjunum kemur mestur hluti stofnkostnaðarins á fyrsta hlutann.

Tafla 16 Jarðgufustöð í Henglinum. Stofnkostnaður á orku-einingu og orkuverð við stöðvarvegg.

| Nýting á ári | Afl MW | Borár- angur kg/s | Stofnkostnaður á orku-einingu kr/kWh/a | Orkuverð 100 GWh/a/a (1) | Orkuverð við stöðvarvegg (2) | Fullnýting |
|-----------------|-----------|-------------------------|--|--------------------------------|------------------------------------|------------|
| 6000 | 60 | 20 | 6,0 | 0,95 | 0,92 | 0,81 |
| -- | -- | 40 | 4,3 | 0,65 | 0,63 | 0,55 |
| -- | -- | 80 | 3,4 | 0,50 | 0,49 | 0,43 |
| -- | 100 | 20 | 5,5 | 0,96 | 0,89 | 0,74 |
| -- | -- | 40 | 3,8 | 0,64 | 0,59 | 0,49 |
| -- | -- | 80 | 2,9 | 0,47 | 0,44 | 0,36 |
| 8000 | 60 | 20 | 4,5 | 0,75 | 0,71 | 0,60 |
| -- | -- | 40 | 3,2 | 0,51 | 0,49 | 0,41 |
| -- | -- | 80 | 2,6 | 0,40 | 0,38 | 0,32 |
| -- | 100 | 20 | 4,1 | 0,79 | 0,71 | 0,55 |
| -- | -- | 40 | 2,8 | 0,52 | 0,47 | 0,37 |
| -- | -- | 80 | 2,2 | 0,39 | 0,35 | 0,27 |

(1) : Virkjað í einum áfanga.

(2) : Með áfangaskiptingu.

4.2 Reynslan af Kröfluvirkjun

Hér verða settar fram áætlaðar tölur um stofnkostnað Kröfluvirkjunar. E. t. v. má segja að ekki sé rétt að nota þessar tölur við samanburð á kostnaði við jarðgufustöð og vatnsaflsvirkjun þar sem ekki sé við því að búast að til komi jafn miklir erfiðleikar við nýtingu jarðvarma til raforkuframleiðslu í framtíðinni eins og raun hefur orðið á við Kröfluvirkjun. Aftur á móti er Kröfluvirkjun eina stóra jarðgufuvirkjunin sem ráðist hefur verið í hér á landi, og er því eðlilegt að mat á jarðgufuvirkjunum byggist að

nokkru á reynslunni þaðan.

Samkvæmt skýrslu Rafmagnsveitna ríkisins, "Kröfluvirkjun. Athugun á hagkvæmni frekari orkuöflunarframkvæmda", kemur fram að áfallinn kostnaður vegna Kröfluvirkjunar er um 1510 Mkr og hefur kostnaður þá verið framreiknaður með vísitölu byggingarkostnaðar til verðlags í mars 1983 (Vísitala byggingarkostnaðar 1774). Miðað við vissar forsendur um árangur borana er síðan áætlað að stofnkostnaður vegna ólokinna framkvæmda sé um 450 Mkr (safnæð, borun, uppsetning vélar o. fl.). Í virkjanaáætlunum er vananlega lagt 50 % ofaná áætlaðan stofnkostnað til að sjá fyrir ýmsum liðum, og væri því til samræmis eðlilegt að bæta hér einhverju við, þó svo það megi e. t. v. vera minna en 50 % (sem er 225 Mkr).

Reiknaður var stofnkostnaður á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg fyrir virkjun með svipaðan stofnkostnað og Kröfluvirkjun. Tafla 17 sýnir niðurstöður þessara reikninga.

Tafla 17 Virkjun með sama áætlaðan stofnkostnað og Kröfluvirkjun. Stofnkostnaður á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg. Rekstrarkostnaður 3,5 % af stofnkostnaði á ári.

| Nýtingar- tímar | Stofnkostnaður á orkueiningu | Orkuverð kr/kWh | | |
|--------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------|
| | | Vöxtur 100 GWh/a/a | Fullnýting strax | Áfangask. |
| klst./a | kr/kWh/a | | | |
| 6000 | 5,8 | 0,88 | 0,86 | 0,75 |
| 8000 | 4,4 | 0,70 | 0,66 | 0,56 |

5 SAMANBURÐUR KOSTA

Í skýrslu Orkustofnunar "Undirbúningur vatnsaflsvirkjana" er sett fram áfangaskipting virkjunarrannsókna. Þar er gert ráð fyrir að við lok hvers rannsóknarstigs sé tekin ákvörðun um hvort halda beri áfram rannsóknum á virkjunarkosti. Ákvörðun hlýtur m. a. að byggjast á áætlun um hve hagkvæmur kosturinn er í samanburði við aðra virkjunarkosti á sama rannsóknarstigi. Ýmsir þættir valda því að slíkur samanburður er erfiður og má í því sambandi nefna eftirfarandi:

- Áætlanir um virkjunarkosti eru unnar af ýmsum aðilum og á ýmsum tímum. Þær eru því unnar á mismunandi vegu og jafnvel út frá mismunandi forsendum og er því ekki víst að þær séu sambærilegar eins og áður er komið fram. Eitt atriði sem nefna má í þessu sambandi er uppsett afl í virkjunum. Ekki má bera saman stofnkostnað tveggja kosta með mismunandi hlutfallslegt uppsett afl (annar nýtingartími), þar sem stofnkostnaður er háður því hve miklu afli er gert ráð fyrir í virkjun. Oft er í áætlunum gefin kostnaðarjafna miðað við breytilegt uppsett afl, og ef það er gert má samræma stofnkostnaðartölur m. t. t. afls. Ef um verulega breytingu á uppsettu afli er að ræða þarf að auki að endurskoða orkumátt virkjunarkosts.
- Þegar áætlanir eru unnar á mismunandi tíma eru kostnaðartölur ekki á sama verðlagi. Vanalega er vísitala byggingarkostnaðar notuð við framreikning á kostnaðartölum, og veldur það einhverri skekkju þar sem sú vísitala er fundin út frá byggingarkostnaði ákveðinna húsa í Reykjavíkursvæðinu, en kostnaðarhlutföll virkjana eru nokkuð önnur en íbúðarhúsa.
- Ætíð er óvissa um þróun þess raforkumarkaðar sem virkjun á að þjóna. Rannsóknir og bygging virkjana taka langan tíma, t. d. er áætlað að virkjun sem forathugun er lokið á geti hafið rekstur að 13 árum liðum ef rannsóknum er haldið stöðugt áfram. Í þessu tilviki þarf því að áætla hver raforkumarkaðurinn verður að þessum tíma liðnum. Orkuspárnefnd hefur gert raforkuspá sem nær fram til aldamóta, en hún leysir ekki allan vandann þar sem mikil óvissa ríkir um hvort og þá hvernig uppbyggingu stóriðju verður háttað. Sem dæmi má nefna að stór virkjun getur verið mjög hagkvæm

ef hún á að þjóna stórum notanda sem svo til fullnýtir framleiðslugetu hennar strax og hún kemst í rekstur. Ef aftur á móti þessi sama virkjun á einungis að þjóna aukinni orkubörf hins almenna markaðar, og árleg aukning er tiltölulega lítil í samanburði við stærð virkjunarinnar, getur hún verið óhagkvæm í samanburði við aðra kosti. Þannig þarf ætíð að hafa í huga hvernig markaðurinn þróast.

- Alltaf er nokkur óvissa í áætlunum um stofnkostnað og orkumátt vatnsaflsvirkjana og borárangur og stofnkostnað jarðgufuvirkjana. Samanburður milli virkjunarkosta byggir á þessum einkennisstærðum virkjunarkosta og því þarf að taka tillit til þessarar óvissu.
- Kostir eru misvel staðsettir m. t. t. meginflutningskerfis raforku, en erfitt er að meta hvernig kostnaður við flutning raforku er háður staðsetningu virkjunar. Virkjanir tengjast inn á það flutningskerfi sem fyrir er auk þess sem ný virkjun getur flýtt framkvæmdum við það. Ekki er hægt að greina kostnað við flutningskerfið niður á einstakar virkjanir. Einnig er ómögulegt að segja til hvernig kerfið muni verða þegar einstaka virkjunarkostir, sem nú eru á forathugunarstigi, tengjast því.

Í þessum kafla eru teknar saman niðurstöður reikninga í köflum 2 til 4 hér að framan og borin er saman stofnkostnaður á orkueiningu og orkuverð við stöðvaarvegg fyrir þessa kosti.

5.1 Virkjunarkostir vatnsorku sem forathugun er að mestu lokið á og jarðgufustöðvar

Í töflu 18 hefur verið tekinn saman stofnkostnaður á orkueiningu og reiknað orkuverð við stöðvarvegg miðað við fullnýtingu strax. Virkjunarkostum er ráðað eftir hækkanði orkuverði við stöðvarvegg, en ekki má bera stofnkostnað þessara kosta á orkueiningu saman þar sem notaður er mismunandi afskriftatími. Til samræmis við vatnsaflsvirkjanir er gert ráð fyrir 6000 klst. nýtingartíma jarðgufustöðva og 100 MW stöð í Henglinum.

Tafla 18 Virkjunarkostir vatnsorku sem forathugun er að mestu lokið á og jarðgufuvirkjanir. Stofnkostnaður á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg miðað við fullnýtingu strax.

| Kenni- tala X.Y | Kostur | Orku- máttur GWh/a | Stofnkostnaður á orkueiningu kr/kWh/a | Orkuverð við stöðvarvegg kr/kWh |
|-----------------------|----------------------|--------------------------|---|---------------------------------------|
| 3.3 | Hvítá, samtals | 1713 | 2,8 | 0,27 |
| | +++++ | | | |
| | Ábóti+Sandvv. | 226 | 4,6 | 0,43 |
| | Stóraver | 1136 | 2,6 | 0,25 |
| | Haukholt | 351 | 2,5 | 0,23 |
| | +++++ | | | |
| 3.2 | Búðarháls | 580 | 3,3 | 0,31 |
| 3.1 | Giljamúli | 882 | 3,6 | 0,34 |
| | Hengill góður borá. | 600 | 2,9 | 0,36 |
| 3.2 | Króksvirkjun | 1140 | 3,9 | 0,36 |
| 3.2 | Bjallavirkjun | 385 | 4,0 | 0,37 |
| | Hengill sæmilegur b. | 600 | 3,8 | 0,49 |
| 3.3 | Vatnsfjarðarv. | 180 | 5,7 | 0,53 |
| | Hengill lélegur b. | 600 | 5,5 | 0,74 |
| | Krafla | 360 | 5,8 | 0,75 |

Samkvæmt töflu 18 kemur Hvítá best út miðað við fullnýtingu strax, en nefna má að áætlunin um virkjun Hvítár er orðin nokkuð gömul. Stofnkostnaður Búðarhálsvirkjunar sem kemur næst er um 17 % hærri á orkueiningu en virkjunarkosta í Hvítá. Ef góður borárangur næst í Henglinum lendir jarðgufustöðin um miðja töflu, en ef árangur af borunum verður slæmur lendir hún neðst.

Ekki má taka tölurnar um orkuverð of alvarlega, en í töflunni er miðað við fullnýtingu strax sem í fæstum tilvikum á sér stað. Auk þess á eftir að bætast við kostnaður við flutning orkunnar frá virkjun til notenda. Reynslan hefur einnig sýnt að meiri líkur eru á því að áætlaður stofnkostnaður hækki fremur en lækki (og þar af leiðandi orkuverð einnig) með auknum rannsóknum á virkjunarkosti, en í kafla 6 er nánar litið á óvissu í áætlunum.

Í töflu 19 er sýnt orkuverð við stöðvarvegg miðað við vöxt

markaðarins um 100 GWh/a/a, en það er svipaður vöxtur og er í raforkuspá Orkuspárnefndar fyrir almenna markaðinn.

Tafla 19 Virkjunarkostir vatnsorku sem forathugun er að mestu lokið á og jarðgufustöðvar. Orkuverð við stöðvarvegg við línulegan vöxt markaðarins um 100 GWh/a/a.

| Kennit. X.Y | Kostur GWh/a | Orkuverð við stöðvarvegg kr/kWh | |
|----------------|----------------------------|------------------------------------|------|
| 3.2 | Búðarháls | 580 | 0,39 |
| 3.3 | Hvítá, samtals | 1713 | 0,41 |
| | Ábóti+Sandvv. | 226 | 0,48 |
| | Stóraver | 1136 | 0,38 |
| | Haukholt | 351 | 0,27 |
| 3.2 | Bjallavirkjun | 385 | 0,43 |
| | Hengill, áfang. g. bor.600 | | 0,44 |
| | Hengill, g. bor. | 600 | 0,47 |
| 3.1 | Giljamúli | 882 | 0,47 |
| 3.2 | Króksvirkjun | 1140 | 0,56 |
| 3.3 | Vatnsfjarðarv. | 180 | 0,57 |
| | Hengill, áfang. s. bor.600 | | 0,59 |
| | Hengill, s. bor. | 600 | 0,64 |
| | Krafla, áfang. | 360 | 0,86 |
| | Krafla | 360 | 0,88 |
| | Hengill, áfang. l. bor.600 | | 0,89 |
| | Hengill, l. bor. | 600 | 0,96 |

Skýringar: áfang. = virkjun áfangaskipt, g. bor. = góður borárangur, s. bor. = sæmilegur borárangur, l. bor. = lélegur borárangur.

Í töflu 19 er virkjunarkostum raðað eftir orkuverði eins og í töflu 18, en röðin er nú önnur. Búðarhálsvirkjun hefur lægsta orkuverðið miðað við vöxt markaðarins um 100 GWh/a/a. Eins og áður er jarðgufustöð í Henglinum um miðja töflu ef borárangur er góður, en önnur tilvik lenda neðst í töflunni, þ. e. hæst orkuverð.

Sömu athugasemdir eiga við orkuverðið í töflu 19 og nefndar

nefna að tölurnar í töflunni eru miðaðar við 6000 stunda nýtingartíma virkjana á ári. Ef þessar virkjanir ættu að þjóna almenna markaðnum eingöngu þyrfti uppsett afl að vera meira en sem svarar 6000 stunda nýtingu og yki það kostnaðinn við virkjanirnar og þar af leiðandi mundi reiknað orkuverð hækka.

Eins og áður er komið fram gæti verið eðlilegt að reka jarðgufustöð með hærri nýtingartíma en vatnsaflsvirkjun, en þá þarf jaðarkostnaður afls í vatnsaflsvirkjunum að vera lægri en í jarðgufuvirkjunum. Til að kanna hvernig jarðgufustöð kæmi út við 8000 klst. nýtingu var stofnkostnaður þriggja virkjunarkosta vatnsorku, þ. e. Búðarháls, Bjalla og Giljamúla áætlaður miðað við þennan nýtingartíma. Síðan eru kostirnir bornir saman á grundvelli þessa nýtingartíma og er þá gert ráð fyrir að aukið afl (sem þörf er á vegna þess að nýtingartími markaðarins er lægri og varaafll þarf að vera til staðar) verði sett upp þar sem jaðarkostnaður afls er lægstur. Þessi samanburður getur að vísu vanmetið ávinnig af vatnsaflsvirkjun sérstaklega ef kerfið sem hún eða jarðgufuvirkjunin eiga að bætast inn á hefur hlutfallslega lítið uppsett afl og vöxtur markaðarins er hægur. Í töflu 20 eru niðurstöður þessara reikninga sýndar miðað við fullnýtingu strax og eins og áður er kostum raðað eftir hækkingu orkuverði.

Miðað við 8000 nýtingartíma og góðan borárangur er Hengillinn með svipað reiknað orkuverð við stöðvarvegg og Búðarháls miðað við fullnýtingu strax. Ef aftur á móti borárangur verður samilegur eða lélegur er það herra en reiknað orkuverð þeirra þriggja virkjunarkosta vatnsorku sem hér er lítið á. Ekki hefur verið kannað hvernig hagkvæmast er að haga samrekstri jarðgufuvirkjana og vatnsaflsvirkjana og verður ekki fjallað um það hér.

Borið hefur verið saman orkuverð miðað við misgóðan árangur borana í Henglinum og þannig reynt að vissu marki að kanna áhrif þessa óvissuþáttar. Hvað varðar vatnsaflsvirkjanir hefur aftur á móti ekki verið tekið neitt tillit til óvissu hvorki í stofnkostnaði né orkumætti, heldur einungis lítið á líklegustu gildin. Í kafla 6 er reynt að meta óvissu bæði í áætlunum um jarðgufuvirkjun og vatnsaflsvirkjanir, en það auðveldar mat á hagkvæmni jarðgufustöðva í samanburði við vatnsaflid.

Tafla 20 Samanburður nokkura virkjunarkosta vatnsorku og jarðgufu miðað við 8000 klst. nýtingartíma virkjana á ári og fullnýtingu strax.

| Kenni- tala X.Y | Kostur | Orku- máttur GWh/a | Stofnkostnaður á orkueiningu kr/kWh/a | Orkuverð við stöðvarvegg kr/kWh |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---|---------------------------------------|
| 3.2 | Búðarháls | 580 | 2,9 | 0,27 |
| | Hengill, góður bor. | 800 | 2,2 | 0,27 |
| 3.1 | Giljamúli | 860 | 3,4 | 0,32 |
| 3.2 | Bjallavirkjun | 385 | 3,5 | 0,33 |
| | Hengill, sæmil. bor. | 800 | 2,8 | 0,37 |
| | Hengill, lélegur bor. | 800 | 4,1 | 0,55 |
| | Krafla | 480 | 4,4 | 0,56 |

5.2 Kostir á forathugunarstigi

Hér verða teknar saman helstu niðurstöður reikninganna að framan varðandi kosti á forathugunarstigi. Tafla 21 sýnir stofnkostnað á orkueiningu og reiknað orkuverð við stöðvarvegg miðað við fullnýtingu strax. Kostunum er raðað eftir hækkandi orkuverði.

Samkvæmt töflunni koma stórvirkjanir í Jökulsánum á Norðausturlandi best út miðað við fullnýtingu strax, en taka ber fram í því sambandi að Hafrahvammavirkjun er fyrsti áfangi þessara virkjunaráforma, en það er jafnframt hlutfallslega dýrasti áfanginn. Virkjanirnar á Vestfjörðum koma aftur á móti lang verst út.

Í töflu 22 er sýnt orkuverð við stövarvegg miðað við vöxt markaðarins um 100 GWh/a/a og eins og í töflu 21 er kostunum raðað eftir hækkandi orkuverði. Í töflunni eru ekki allar stórvirkjanirnar á Austurlandi sýndar þar sem þær eru mjög stórar og koma því ekki til greina við þetta hæga markaðspróun. Til samanburðar er Hafrahvammavirkjun sýnd, en hún er fyrsti áfanginn í þessum virkjunaráformum. Áður hefur hagkvæmni stórvirkjana austanlands verið könnuð í samanburði við aðra virkjunarkosti, og í því sambandi vitnast til greinargerðar Jóns Vilhjálmssonar frá því í febrúar 1982 "Hagkvæmni stórvirkjana Austanlands í samanburði við aðra virkjunarkosti". Þar kemur m. a. fram að markaðurinn verður að vaxa á bilinu 350 GWh/a/a til 700

GWh/a/a til að þessar virkjanir verði hagkvæmari heldur en röð smærri virkjana. Ef ráðast á í þessar virkjanir verður því mjög svo aukin stóriðja að koma til.

Tafla 21 Virkjunarkostir á forathugunarstigi. Stofnkostnaður á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg miðað við fullnýtingu virkjana um leið og þær komast í rekstur.

| Kenni- tala X.Y | Kostur | Orku- máttur GWh/a | Stofnkostnaður á orkueiningu kr/kWh/a | Orkuverð við stöðvarvegg kr/kWh |
|-----------------------|-----------------|--------------------------|---|---------------------------------------|
| 2.3 | NA-land Samtals | 8530 | 2,1 | 0,20 |
| +++++ | | | | |
| | Hafrahvammav. | 1710 | 3,5 | 0,32 |
| | Brúarvirkjun | 3620 | 2,3 | 0,21 |
| | Jökulsárveita | 3200 | 1,1 | 0,11 |
| +++++ | | | | |
| 2.1 | Urriðafoss | 920 | 3,2 | 0,30 |
| 2.1 | Núpur | 795 | 3,6 | 0,34 |
| 2.3 | Íshólsvatn | 375 | 3,9 | 0,37 |
| 2.1 | Búðafoss | 590 | 4,2 | 0,39 |
| 2.1 | Hvalárvirkjun | 218 | 5,1 | 0,47 |
| 2.1 | Skúfnavatnav. | 73 | 7,5 | 0,71 |

Tafla 22 Virkjunarkostir á forathugunarstigi. Orkuverð við stöðvarvegg við línulegan vöxt markaðarins um 100 GWh/a/a.

| Kennit. X.Y | Kostur | Orkumáttur GWh/a | Orkuverð við stöðvarvegg kr/kWh |
|----------------|---------------|---------------------|---------------------------------------|
| 2.1 | Urriðafoss | 920 | 0,42 |
| 2.3 | Íshólsvatn | 375 | 0,43 |
| 2.1 | Núpur | 795 | 0,46 |
| 2.1 | Búðafoss | 590 | 0,50 |
| 2.1 | Hvalárvirkjun | 218 | 0,52 |
| 2.3 | Hafrahvammav. | 1710 | 0,61 |
| 2.1 | Skúfnavatnav. | 73 | 0,73 |

6 ÓVISSA Í ÁÆTLUNUM

Við gerð áætlana er ætíð einhver óvissa fyrir hendi og er hún því meiri sem allar forsendur eru minna þekktar. Erfitt er að meta slíka óvissu, þó verður hér sett fram óvissa í þeim áætlunum um virkjunarkosti, sem fjallað var um hér að framan, og könnuð áhrif hennar á reiknaða orkuverðið. Slíkt mat verður aldrei ótvírætt, en vissulega er þörf á að kanna áhrif óvissu á orkuverð frá virkjunum þegar verið er að bera saman virkjunarkosti og áætla hvert orkuverð frá þeim verði.

6.1 Mat á óvissu í áætlunum um vatnsaflsvirkjanir

Vert er að kanna hvernig áætlanir um einstaka virkjunarkosti hafa þróast eftir því sem rannsóknum á þeim hefur miðað áfram. Hér verður litið á tvo virkjunarkosti sem mikið hefur verið fjallað um á síðustu árum, þ. e. Blönduvirkjun og Fljótsdalsvirkjun.

Blönduvirkjun er nú á byggingarstigi (sbr. "Undirbúningur Vatnsaflsvirkjana", Jón Ingimarsson o. fl.), en í töflu 23 er sýnt hvernig áætlaður stofnkostnaður og orkumáttur hafa þróast frá því virkjunin var á forathugunarstigi.

Tafla 23 Blönduvirkjun, áætlaður stofnkostnaður og orkumáttur. Stofnkostnaður framreiknaður til verðlags í mars 1983 með vísitölu byggingarkostnaðar.

| Áætlun frá árinu | 1973 | 1975 | 1982 | 1983 |
|------------------------|------|------|------|------|
| Afl (MW) | 122 | 135 | 150 | 150 |
| Nýtingartími (klst./a) | 7000 | 5900 | 5300 | 5000 |
| Orkumáttur (GWh/a) | 850 | 800 | 790 | 750 |
| Stofnkostnaður (Mkr) | 1670 | 1780 | 2240 | 2890 |

Í töflunni sést að áætlaður stofnkostnaður hefur aukist frá 1973 um 73 % og orkumáttur hefur minnkað um 12 %. Eitt atriði sem veldur auknum stofnkostnaði er að uppsett afl hefur aukist þrátt fyrir að orkumátturinn hafi farið minnkandi. Mikilvægt er að miða við raunhæft uppsett afl, en í eldri áætlunum virðist oft lítið hugað að því hvert sé

eðlilegt uppsett afl.

Í töflu 24 er sýnt hvernig áætlanir um Fljótsdalsvirkjun hafa þróast.

Tafla 24 Fljótsdalsvirkjun, áætlaður stofnkostnaður og orkumáttur. Stofnkostnaður framreiknaður til verðlags í mars 1983 með vísitölu byggingarkostnaðar.

| Áætlun frá árinu | 1970 | 1978 | 1982 | 1983 |
|------------------------|------|------|------|------|
| Afl (MW) | 300 | 295 | 252 | 252 |
| Nýtingartími (klst./a) | 7000 | 6000 | 5300 | 5300 |
| Orkumáttur (GWh/a) | 2100 | 1770 | 1325 | 1325 |
| Stofnkostnaður (Mkr) | | 3980 | 4630 | 5400 |

Frá 1978 hefur því áætlaður stofnkostnaður virkjunarinnar vaxið um 36 % og orkumáttur minnkað um 37 %. Orkumátturinn hefur minnkað nokkuð mikið og er meginástæðan líklega sú að áður var gert ráð fyrir að virkjunin bættist inn á kerfi sem segja má að hafi verið vanmiðlað. Í dag er miðað við annað kerfi sem samræmist framkvæmdum sem eru í gangi á Þjórsársvæðinu, þar á meðal stækkun Þórisvatnsmiðlunar.

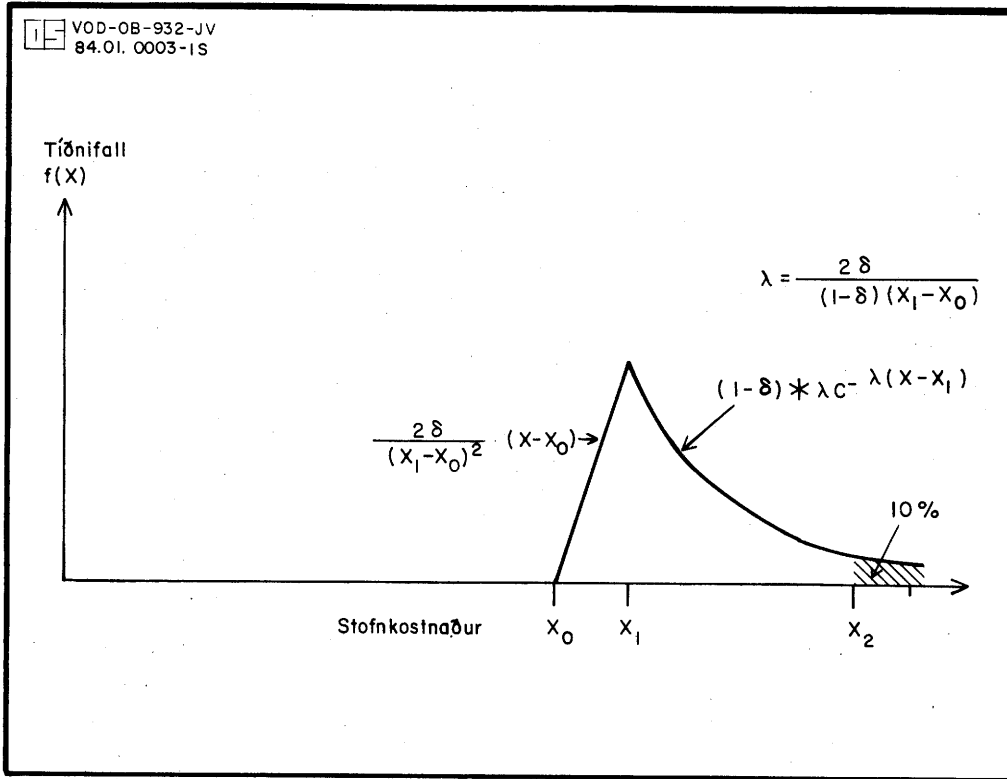
Í töflum 23 og 24 kemur fram að áætlanir hafa hækkað nokkuð umfram vísitölu byggingarkostnaðar á árinu 1982. Meginorsök þessa er ekki skekkja í áætlunum heldur að vísitalan gefur á þessu tímabili ekki rétta mynd af þróun kostnaðar virkjana. Gengisþróun er ein af ástæðum þessa, en erlendur kostnaður er stærri hluti kostnaðar við virkjanir en við íbúðarhús. Einnig hækkuðu gjaldskrár vinnuvéla verulega umfram vísitöluna, en kostnaður við vinnuvélar er marfalt meiri við virkjanaframkvæmdir en íbúðarhúsabyggingar. Samkvæmt upplýsingum frá Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen hf. hélt kostnaður við virkjanir á árinu 1983 áfram að vaxa hraðar en vísitala byggingarkostnaðar. Verkfræðistofan hefur einnig kannað þróun vísitölnunnar í samanburði við áætlaðan stofnkostnað virkjana á árunum 1975 til 1981 og kom í ljós að á þessu tímabili lýsti vísitalan vel breytingum í stofnkostnaði virkjana.

Sumir kunna e. t. v. að segja að samanburður sem þessi sé

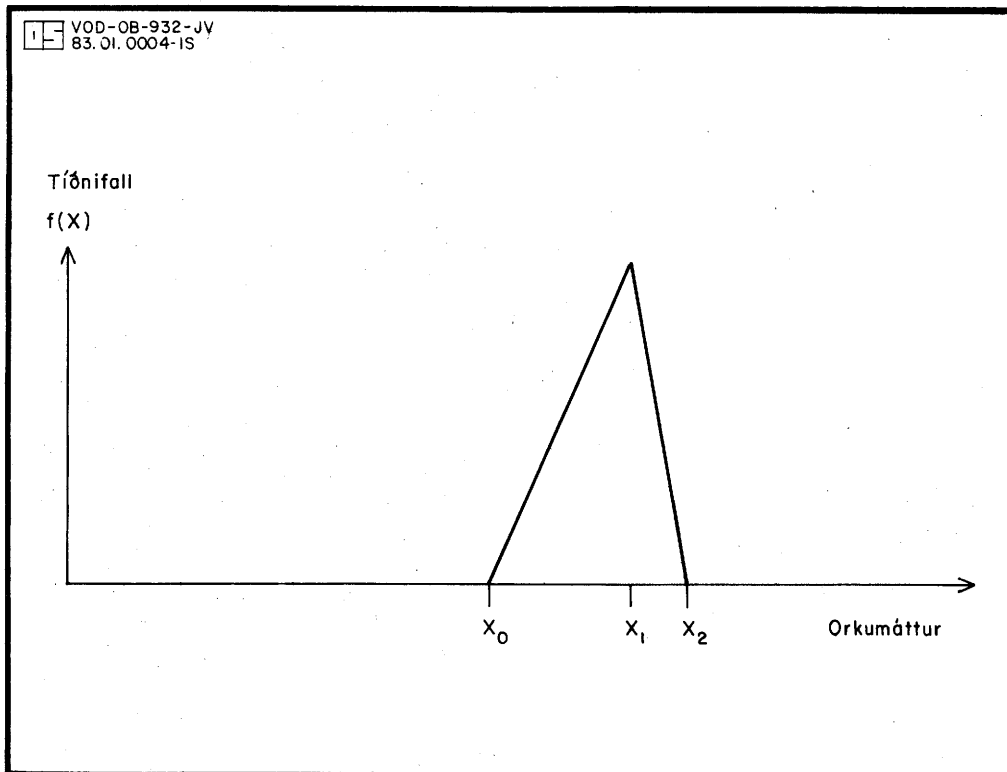
alls ekki marktækur, en í þeim tilgangi sem hér um ræðir, þ. e. að kanna hvernig orkumáttur og stofnkostnaður í virkjunaráætlunum þróast með auknum rannsóknum, má út frá samanburði sem þessum fá hugmynd um þróun virkjunaráætlana. Með auknum rannsóknum geta forsendur breyst, en það ætti að geta leitt til þess að hagkvæmari lausn finndist. Að vísu geta komið til kröfur sem útiloka hagkvæmustu tilhögun. Þar á móti kemur að kostnaður virðist fremur vanmetinn þegar aðstæður eru lítt þekktar. Ef meta á óvissu í áætlunum verður að taka tillit til allra hugsanlegra breytinga á tilhögun, t. d. vegna náttúruverndar, bóta og annars. Ef orkuverð er reiknað út frá áætlunum sem miklar líkur eru á að hækki eru menn einungis að blekkja sig á því hve orkan hér sé ódýr. Slíkt vanmat getur verið alvarlegt þegar verið er hugleidda uppbyggingu orkufreks iðnaðar. Engin skynsemi er í því að miða samninga við áætlaðan framleiðslukostnað raforku sem miklar líkur eru á að hækki.

Í fyrrnefndri skýrslu Jóns Ingimarssonar o. fl. frá 1982 er sett visst óvissubíl á stofnkostnað áætlana á hverju rannsóknarstigi, en upphaflega var þetta óvissubíl sett fram í bréfi Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen til Landsvirkjunar árið 1980. Eftir því sem rannsóknum miðar áfram er gert ráð fyrir að þetta óvissubíl þrengist. Ekki er sett fram nein líkindadreifing á stofnkostnaðinn, einungis mörk. Hér verður gert ráð fyrir að dreifing stofnkostnaðar sé eins og sýnt er á mynd 8, en það er sama dreifing og miðað er við í "Vinnsla og flutningur raforku til aldamóta, II" (Verkfræðistofa Helga Sigvaldasonar h.f. 1981). Frá því að þeir reikningar, sem hér er lýst, voru framkvæmdir hefur Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen sett fram aðra skilgreiningu á óvissumörkum áætlana heldur en hingað til hefur verið notuð (sjá 17. kafla í "Virkjanalíkan OS", óútgefið handrit). Þessi nýja skilgreining er í samræmi við framsetningu í grein í nóvemberhefti tímaritsins Water Power and Dam Construction eftir kanadamanninn J. L. Gordon, en þar setur hann fram óvissumörk fyrir vatnsaflsvirkjanir.

Til að finna orkuverð þarf auk stofnkostnaðar að vita orkumátt viðkomandi kosts. Einnig er þörf á að taka tillit til óvissu þess þáttar, en ekki hefur verið sett fram almennt mat á óvissu í orkumætti. Hér verður því gert ráð fyrir að virkjunarkostir á forathugunarstigi hafi óvissumörkin 75 % til 110 % í orkumætti og að dreifingin sé eins og sýnt er á mynd 9.



Mynd 8 Líkindadreifing stofnkostnaðar virkjana (tíðnifall).



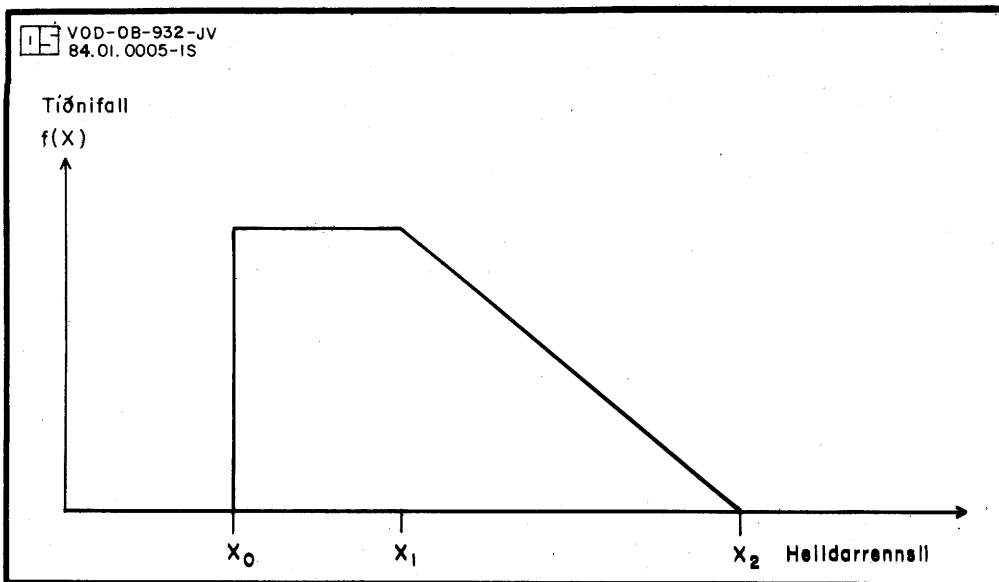
Mynd 9 Líkindadreifing orkumáttar vatnsaflsvirkjana (tíðnifall).

Hér verður gert ráð fyrir að allir virkjunarkostir vatnsorku, sem teknir voru með hér að framan, hafi sömu óvissumörk í samræmi við að þeir eru allir á forathugunarstigi. Vissulega væri eðlilegt að gera ráð fyrir mismunandi óvissumörkum bæði vegna þess að áætlanir eru misgamlar og vegna þess að kostir eru komnir mislangt innan forathugunarstigsins. Á þessu stigi málsins var ekki talið fært að áætla mismunandi óvissumörk eftir kostum, en við gerð áætlana í framtíðinni væri eðlilegt að setja fram óvissumörk á grundvelli bestu þekkingar hverju sinni. Í þessu sambandi má nefna að líklegt verður að telja að minni óvissa sé að jafnaði í nýlegum áætlunum heldur en eldri þar sem reynsla verkfræðinga á þessu sviði hefur stöðugt vaxið. Framreikningur áætlana samkvæmt vísitölu byggingarkostnaðar ætti að valda aukinni skekkju eftir því sem áætlanir eru eldri.

6.2 Mat á óvissu í áætlunum um jarðgufuvirkjanir

Ekki er um auðugan garð að gresja varðandi áætlanir um jarðgufuvirkjanir, og er því ekki mögulegt að setja fram töflur um hvernig áætlanir um slíka virkjunarkosti hafa breyst með tímanum. Ekki er heldur til almennt mat á óvissu í áætlunum um jarðgufuvirkjanir. Í skýrslu Verkfræðistofu Guðmundar og Kristjáns frá 1982 um jarðgufustöð í Henglinum er talið að óvissa í stofnkostnaði fyrir 100 MW stöð sé um +- 20 til 25 %. Hér verður gert ráð fyrir að óvissumörk stofnkostnaðar jarðgufustöðvar í Henglinum séu 80 % til 125 % og að dreifingin sé sú sama og fyrir vatnsaflsvirkjanir, sbr. mynd 8.

Varðandi jarðgufustöðvar er auk þess óvissa í borárangri, en eins og kemur fram hér að framan voru í áætluninni um Hengilinn tekin dæmi um misgóðan árangur borana (20, 40 og 80 kg/s heildarrensli að meðaltali úr holu). Hér verður gert ráð fyrir að óvissumörk séu jafnargildin sem sett voru fram í fyrrnefndri áætlun. Stofnkostnaður, en hann er gefinn upp fyrir þessi gildi, er síðan látinn breytast línulega á milli þeirra. Notuð er líkindadreifing sem sýnd er á mynd 10. Með þeirri dreifingu verða líkur á lélegri árangri við boranir en xl (40 kg/s) jafnar líkum á betri borárangri.



Mynd 10 Árangur borana, líkindadreifing (tíðnifall).

6.3 Áhrif óvissu á orkuverð

Samið var tölvuforrit til að finna dreifingu orkuverðs út frá líkindadreifingunum hér að framan og er notuð svokölluð "Monte Carlo" aðferð. Kostunum er síðan raðað í sjö flokka og er þá gert ráð fyrir að líkur á að reiknað orkuverð frá virkjun sé hærra en verðmörk flokksins séu innan við 10 %. Skilgreining á þessum flokkum er sýnd í töflu 25.

Tafla 25 Flokkun virkjunarkosta eftir orkuverði við stöðvarvegg.

| Flokkur | Minna en 10 % líkur á að orkuverð frá virkjun sé hærra en | | | |
|---------|--|-------------|----|----|
| I | 30 aurar/kWh | 15 mill/kWh | | |
| II | 40 | -- | 20 | -- |
| III | 50 | -- | 25 | -- |
| IV | 60 | -- | 30 | -- |
| V | 70 | -- | 35 | -- |
| VI | 80 | -- | 40 | -- |
| VII | Meira en 10 % líkur á að orkuverð sé hærra en 80 aurar/kWh | | | |

Meðalgengi bandaríkjadollara var rúmar 20 kr í mars 1983 svo að 10 aurar/kWh samsvara um 5 millum/kWh. Í töflu 26 hafa virkjunarkostir, sem litið var á hér að framan, verið flokkaðir samkvæmt töflu 25.

Tafla 26 Flokkun virkjunarkosta.

| Kenni- tala | Kostur | Vöxtur | | Fullnýting | | |
|----------------|-----------------|-------------|-----|------------|-----|-----|
| | | 100 GWh/a/a | | strax | | |
| X.Y | Vextir | % | 8 | 6 | 8 | 6 |
| 3.3 | Hvítá | | IV | III | II | II |
| 3.2 | Búðarháls | | IV | III | III | II |
| 3.1 | Giljamúli | | V | IV | IV | IV |
| 3.2 | Króksvirkjun | | VII | V | IV | III |
| 3.2 | Bjallavirkjun | | V | IV | IV | III |
| 3.3 | Vatnsfjarðarv. | | VII | V | VII | V |
| | Hengill | | VII | VI | VI | V |
| 2.3 | NA-land Samtals | | | | I | I |
| | Hafrahvammav. | | VII | V | III | III |
| 2.1 | Urriðafoss | | V | III | III | II |
| 2.1 | Núpur | | V | IV | IV | III |
| 2.3 | Íshólsvatn | | V | IV | IV | III |
| 2.1 | Búðafoss | | VI | IV | V | III |
| 2.1 | Hvalárvirkjun | | VI | V | VI | IV |

Hér er um orkuverð við stöðvarvegg virkjana að ræða, en til að fá orkuverð frá meginflutningskerfinu þarf síðan að bæta við kostnaði við flutningsvirki.

Framleiðslukostnaður raforku til stóriðju fyrir kosti í flokkum I og II ætti nokkuð örugglega að geta orðið svipaður eða lægri en efri mörk orkuverðs til stóriðju sem undanfarið hefur verið talað um (um 22 mill/kWh). Ef litið er á töflurnar hér að framan eru það einungis kostir í Hvítá og á NA-landi sem lenda í þessum flokkum. Auk þess þarf mjög mikla stóriðju á skömmum tíma til að gera virkjanir á NA-landi hagkvæmar. Þar eru mjög stórir kostir

(um 8 TWh/a), sem líklega yrðu byggðir í þremur áföngum og er fyrsti áfanginn lang dýrastur og sá síðasti ódýrastur. Margt bendir til þess að orkumáttur þessara kosta sé ofmetinn, en ef ráðist yrði í þá þyrfti að hugleiða vandlega hver framleiðsla þeirra gæti orðið einstaka ár, þar sem þessir kostir yrðu stór hluti af heildarkerfinu.

Innflutningsverð á gasolíu er um þessar mundir um 270 \$/tonn. Út frá þessari tölu má reyna að áætla orkuverð frá olíustöð. Gerum ráð fyrir að olíustöðin hafi góða nýtni eða 35 %, að gasolía sé flutt beint til stöðvarinnar, að engin gjöld séu lögð á olíuna og að annar kostnaður en olíukaup sé 25 %. Kostnaðarverð raforkuverð frá slíkri stöð yrði um 80 mill/kWh (með sömu forsendum fengist fyrir svartolíu um 65 mill/kWh) og ættu því allir þeir virkjunarkostir sem hér eru teknir til athugunar að vera samkeppnisfærir við olíustöð (grunnafl).

Í töflu 26 sést að ekki er tryggt að jarðgufustöð í Henglinum geti gefið lægri framleiðslukostnað raforku til stóriðju en um 40 mill/kWh miðað við þær forsendur sem þar er gert ráð fyrir. Að vísu hefur hér verið gert ráð fyrir 6000 klst nýtingartíma virkjana á ári og segja má að hagkvæmni jarðgufustöðva (sem og annara virkjana) aukist verulega með aukinni nýtni. Stóriðja hefur í flestum tilvikum rýtingartíma yfir 8000 klst./ári, en að auki þarf að vera til staðar varaafli í kerfinu. Kannað var hvert orkuverð frá jarðgufustöð í Henglinum væri miðað við 8000 klst./ári nýtingartíma og eru niðurstöður sýndar í töflu 27.

Tafla 27 Flokkun virkjunarkosta miða við 8000 klst. nýtingartíma virkjana á ári.

| Kennit. X.Y | Kostur | Vöxtur 100 GWh/a/a | Fullnýting strax |
|----------------|---------------|-----------------------|---------------------|
| 3.1 | Búðarháls | IV | III |
| 3.1 | Giljamúli | V | III |
| 3.2 | Bjallavirkjun | IV | IV |
| | Hengill | V | IV |

Þrátt fyrir að gert sé ráð fyrir þetta háum nýtingartíma

virðist framleiðslukostnaður raforku frá jarðgufustöð ekki geta orðið af þeirri stærð sem talað er um í dag varðandi orkuverð til stóriðju. Hér hefur ekkert tillit verið tekið til áhrifa breytilegs nýtingartíma á endingu borhola og jarðhitasvæðis, en ætla má að visst samspil sé þarna á milli.

Ef litið er á dálkinn um vöxt markaðarins um 100 GWh/a/a í töflu 26 sést að jarðgufustöð lendir í flokki VI til VII á meðan hagkvæmustu kostir eru í flokki III til IV, og allir virkjunarkostir vatnsorku í töflunni lenda í sama eða lægri flokki og jarðgufustöðin. Miðað við hærri nýtingartíma jarðgufuvirkjunar nálgast hún hagkvæmari kostina, en kemst þó ekki upp fyrir þá.

Forsendur þær sem hér hafa verið notaðar til að áætla líkindadreifingu orkuverðs og flokkun virkjana má vissulega deila um. Hvort t. d. eðlilegustu líkindadreifingar eru notaðar er ómögulegt að dæma um. Mestu máli skiptir að meta nokkuð raunhæft áhrif óvissu á orkuverð frá virkjunum, en þó að forsendum sé eitthvað hliðrað þá er ekki víst að niðurstöðurnar breytist svo mikið.

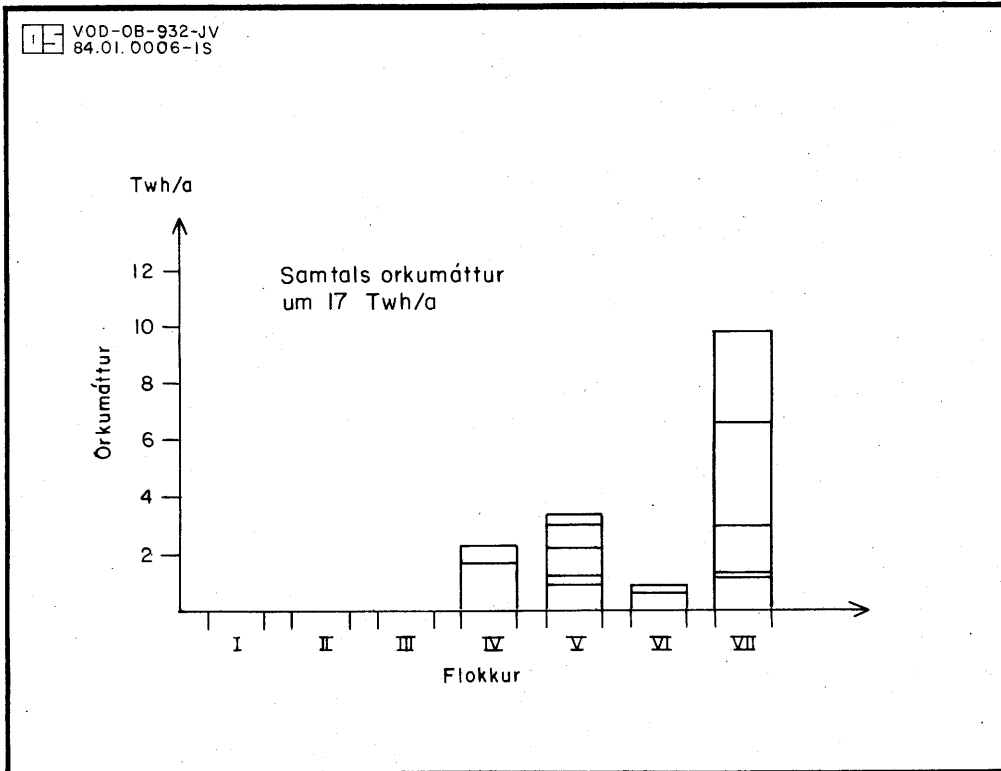
7 NIÐURSTÖÐUR

Hér verða teknar saman helstu niðurstöður sem komið hafa fram. Varðandi samanburð milli virkjunarkosta voru niðurstöður þessar:

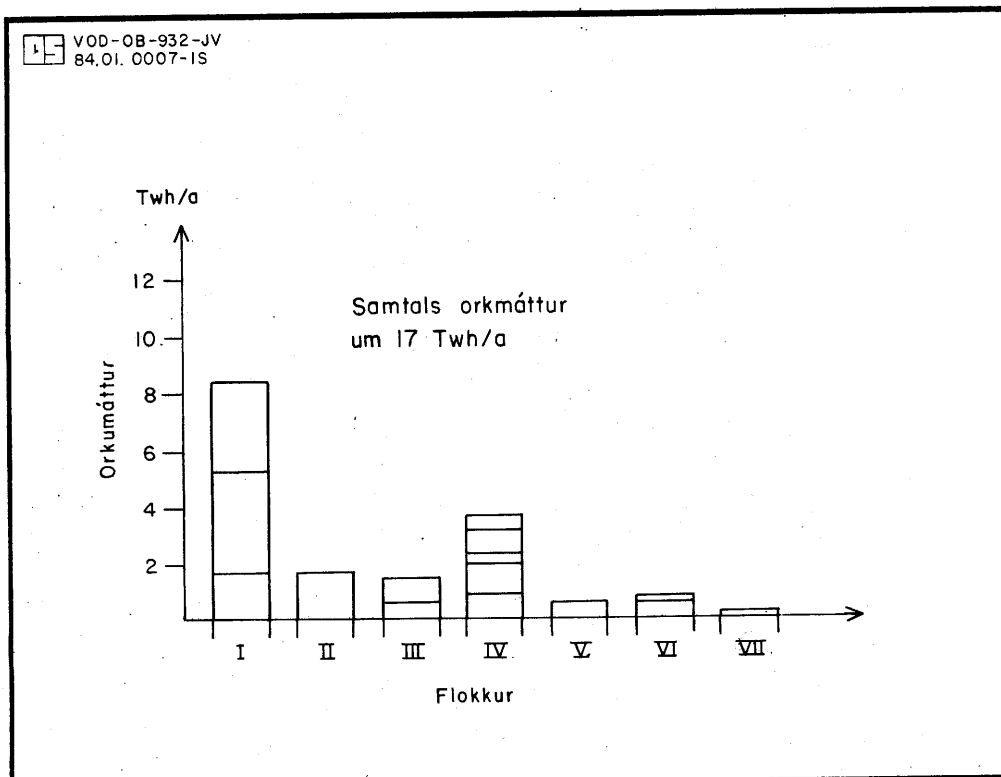
- Af virkjunarkostum vatnsorku sem forathugun er að mestu lokið á virðast Búðarhálsvirkjun og kostir í Hvítá vera hagkvæmastir miðað við vöxt almenna markaðarins. Af kostum á forathugunarstigi virðast Urriðafoss, Íshólsvatn og Núpur vera hagkvæmastir við þennan vöxt markaðarins, þó heldur óhagkvæmari en Búðarháls og Hvítá.
- Ef virkjanir fullnýtast strax koma stórvirkjanir á Austurlandi og kostir í Hvítá best út.
- Jarðgufuvirkjun í Henglinum er greinilega óhagkvæmari en hagkvæmustu kostir vatnsorku.

Reiknað var orkuverð frá virkjunum, þ. e. orkuverð við stöðvarvegg, en ekki hjá notendum. Helstu niðurstöður þessara reikninga miðað við 8 % reiknivexti voru:

- Framleiðslukostnaður raforku frá þeim virkjunarkostum sem hér um ræðir og hagkvæmastir eru virðist með nokkuð öruggum líkum geta orðið um eða innan við 60 aurar/kWh (um 30 mill/kWh) fyrir almennan markað. Á mynd 11 er sýnt hvernig þessir kostir flokkast eftir orkuverði fyrir almennan markað. Áætlaður orkumáttur kosta í flokki IV, þ. e. kosta þar sem framleiðslukostnaður ætti nokkuð örugglega að geta verið um eða innan við 60 auru/kWh, er t. d. um 2300 GWh/a.
- Til stóriðju virðist framleiðslukostnaður raforku frá hagkvæmustu kostunum geta orðið um eða innan við 40 aurar/kWh (um 20 mill/kWh), en þó gæti hann líklega orðið nokkuð lægri ef ráðist yrði í stórfellda uppbyggingu stóriðju, sem gæti nýtt mest allan orkumátt stórvirkjana á Austurlandi á fáum árum. Á mynd 12 er sýnt hvernig kostir flokkast eftir orkuverði miðað við fullnýtingu strax, sbr. mynd 11.



Mynd 11 Flokkun orkumáttar virkjunarkosta eftir orkuverði við stöðvarvegg. Miðað er við línulegan vöxt markaðarins um 100 GWh/a/a.



Mynd 12 Flokkun orkumáttar virkjunarkosta eftir orkuverði við stöðvarvegg. Miðað er við fullnýtingu virkjana strax og þær hefja rekstur.

Að lokum verða dregnar saman nokkrar ályktanir af niðurstöðunum hér að framan.

- Áætlun um virkjanir í Hvítá er orðin nokkuð gömul og þyrfti að gera nýja áætlun til að hafa betri samanburð við nýlegar áætlanir um aðra virkjunarkosti. Út frá nýrri áætlun mætti síðan kanna hvort rétt sé að leggja mikla áherslu á rannsóknir þar fremur en á öðrum virkjunarstöðum sem eru á þessu rannsóknarstigi, en núverandi áætlun bendir til þess. Virkjun við Búðarháls virðist geta orðið nokkuð hagkvæm fyrir almennan markað og væri því rétt að leggja nokkra áherslu á hana.
- Orkuverð til nýrrar stóriðju, sem á að standa undir framkvæmdum við raforkukerfið, virðist í framtíðinni vart geta orðið mikið lægra en 25 mill/kWh. Stórfelld uppbygging virkjana á Austurlandi samfara mikilli uppbyggingu stóriðju gæti líklega gefið nokkuð lægra verð. Einungis hagkvæmustu kostirnir geta gefið þetta orkuverð, en það þyrfti að vera hærri ef aðrir kostir en þeir hagkvæmustu eru virkjaðir fyrir stóriðju (sjá mynd 12).

Vatnsorkan hér er ekki "mjög" ódýr eins og margur hefur haldið, en það er heldur engin ástæða til að ætla að hún sé óeðlilega dýr (sjá viðauka 3). Í þessu sambandi má nefna stærstu virkjun í heimi, Itaipu, sem er að hefja rekstur um þessar mundir, en hún er í vatnsfalli á landamærum Brazílu og Paraguay. Orku máttur þessarar virkjunar er áætlaður um 79 TWh/a og stofnkostnaður um 14.000 milljónir dollara (Sjá Julival de Moraes og Victor F. Salatko 1983). Ef notaðar eru sömu aðferðir og hér að framan til að reikna orkuverð miðað við fullnýtingu strax fást um 17 mill/kWh. Til að finna framleiðslukostnað raforku til stóriðju miðað við afhendingarstað orkunnar þarf auk stofnkostnaðar virkjunar að hafa kostnað við flutningsvirki, svo að framleiðslukostnaður raforku til stóriðju frá þessari virkjun ætti vart að vera undir 20 mill/kWh.

Stundum er því einnig haldið fram að við eigum geysimiklar orkulindir, en ef við berum það sem talið er hagkvæmt vatnsafl á Íslandi, sem er um 30 til 40 TWh/a, saman við orku Itaipu þá er okkar hagkvæma vatnsafl í mesta lagi um helmingur af orku þeirrar

virðjunar. Auk vatnsaflsins höfum við jarðvarmann og miðað við fólksfjölda eru orkulindir landsins vissulega miklar, en miðað við orkunotkun heimsins eru þær litlar.

- Miðað við stöðu mála nú virðast jarðgufuvirkjanir vart vera samkeppnishæfar við vatnsaflsvirkjanir til raforkuframleiðslu einvörðungu. Jarðgufuvirkjun hentar líklega betur fyrir almennan markað en stóriðju þar sem auðvelt er að áfangaskipta slíkri virkjun, en oft á tíðum er erfitt að finna hentuga áfangaskiptingu vatnsaflsvirkjana. Ekki hefur verið kannað hvernig eðlilegast væri að haga samrekstri vatnsafls- og jarðvarmavirkjana, en ekkert bendir til þess að slík athugun gerbreytti þeim niðurstöðum sem hér hafa fengist varðandi hagkvæmni jarðvarmavirkjana.

Samnýting jarðvarma til hitunar og raforkuframleiðslu eins og hjá Hitaveitu Suðurnesja virðist geta verið mjög hagkvæm, en þó getur þessi samnýting ekki orðið mjög mikil þar sem markaður fyrir heitt vatn er takmarkaður hér á landi. Í þessu sambandi má nefna áætlun Hitaveitu Reykjavíkur frá 1983 um orkuver að Nesjavöllum, en samkvæmt þeirri áætlun er raforkuframleiðsla þar mjög hagkvæm. Nefna má að raforkufyrirtæki í Kaliforníu (Southern California Edison Company) hefur hætt við byggingu jarðgufustöðvar (47 MW) þar sem þeir telja hana ekki samkeppnisfæra við eldsneytisstöðvar ("Power Engineering Review", júní 1983 bls. 6).

HEIMILDASKRÁ

Almenna verkfræðistofan hf. 1977: "Vestfjarðavirkjanir. Vatnsfjarðarvirkjun. Frumáætlun. Aðrir valkostir á Glámu-svæði". Orkustofnun, OS-ROD-7710.

Almenna verkfræðistofan hf., Virkir hf. og Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. 1978: "Austurlandsvirkjun. Forathugun virkjana á vatnasviðum Jökulsár á Fjöllum, Jökulsár á Brú og Jökulsár í Fljótsdal". Orkustofnun og Rafmagnsveitur ríkisins, OS-ROD-7817.

Almenna verkfræðistofan hf., Virkir hf. og Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. 1980: "Þjórsárvirkjanir. Mynzturáætlun um orkunýtingu á vatnasviði Þjórsár niður fyrir Búrfell". Landsvirkjun.

Almenna verkfræðistofan hf., Hönnun hf., Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf., Virkir hf. og Rafhönnun hf. 1982: "Fljótsdalsvirkjun. Verkhönnun 252 MW virkjunar". Rafmagnsveitur ríkisins, Rarík 82506.

Gunnlaugur H. Jónsson 1980: "Hydro. A Dynamic Simulation Program for Optimization of Hydropower sites and Simulation of Hydropower Plants". Nordic Hydrological Conference, Vemdalen, Sweden, August 10 - 16th 1980.

Hörður Svavarsson 1981: "Þjórsárvirkjanir, forathugun á virkjun Þjórsár neðan Búrfells". Orkustofnun, HS-81/02.

Hörður Svavarsson 1982: "Jökulsár í Skagafirði. Forathugun á virkjunarkostum". Orkustofnun, OS82086/VOD13.

Hörður Svavarsson og Kristinn Einarsson 1983: "Ófeigsfjarðarheiði. Forathugun á virkjunarkostum". Orkustofnun, OS-83012/VOD-07B.

IEEE Power Engineering Review 1983: Vol. 3, No. 6: 6.

J. L. Gordon 1983: "Hydropower cost estimates". Water Power and Dam Construction, Vol. XX, No. 11: 30 - 37.

Jón Ingimarsson, Birgir Jónsson, Davíð Egilson og Freysteinn Sigurðsson 1982: "Undirbúningur vatnsaflsvirkjana. Markmið og framkvæmd". Orkustofnun, OS82075/VOD12, 2. útg., OS83045/VOD04.

Jón Vilhjálmsson 1982: "Hagkvæmni stórvirkjana Austanlands í samanburði við aðra virkjunarkosti". Orkustofnun, OS82026/VOD18B.

Julival de Moraes and Victor F. Salatko 1983: "Coming: 12.600 megawatts at Itaipu Island". IEEE Spectrum, Vol.20, No. 8: 46 - 52.

Landsvirkjun 1983: "Greinargerð. Val og tímasetning næstu virkjunar eftir Kvíslaveitu".

Orkuspárnefnd 1981: "Raforkuspá 1981 - 2000".

Orkustofnun, Verkfræðistofa Helga Sigvaldasonar hf. og Almenna verkfræðistofan hf. 1983: "Öryggi í raforkumálum á Vestfjörðum". Orkustofnun, OS-83039/VOD03.

Starfshópur á Vatnsorkudeild 1982: "Fimm ára áætlun um rannsóknir vegna vatnsaflsvirkjana". Orkustofnun, OS82098/VOD16.

Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns hf. 1982: "Frumdrög að áætlun um Jarðgufustöð í Hengli". Orkustofnun, OS82023/JHD02.

Verkfræðistofa Helga Sigvaldasonar hf. 1981: "Vinnsla og flutningur raforku til aldamóta. Samanburður virkjunarleiða. II Orkuver". Orkustofnun, OS81001/VOD01.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen sf. 1973: "Virkjun Skjálfandafljóts. Samanburðaráætlanir. Áætlun um virkjun við Íshólsvatn". Orkustofnun.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen sf. 1973: "Áætlun um virkjun Blöndu. Framvinduskýrsla". Orkustofnun.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen sf. 1975: "Virkjun Blöndu I. Frumáætlun um 135 MW virkjun". Orkustofnun, OS-ROD-7521.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen sf. 1975: "Austurlandsvirkjun. Yfirlit yfir virkjunarathuganir á vatnasviðum Jökulsár á Fjöllum, Jökulsár á Brú og Jökulsár í Fljótsdal". Orkustofnun, OS-ROD-7538.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen sf. 1976: "Skjálfanda-
fljót. Virkjunarathuganir 1970 -1974 og drög að áætlun um
62,5 MW virkjun við Íshólsvatn". Orkustofnun,
OS-ROD-7626.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen sf. 1977: "Hvítár-
virkjanir I. Samanburðaráætlanir um nýtingu fallsins frá
Hvítárvatni niður fyrir Haukholt". Orkustofnun,
OS-ROD-7711.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. 1980: "Nákvæmni
kostnaðaráætlana". Bréf til Landsvirkjunar, dagsett 15.
janúar 1980.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. 1982: "Blöndu-
virkjun. Verkhönnun 150 MW virkjunar við Eiðstaði".
Rafmagnsveitur ríkisins, Rarík 82505.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. 1983: "Virkjanalíkan
OS". Óútgefið handrit.

Verkfræðistofan Strengur 1983: "Kröfluvirkjun. Athugun á
hagkvæmni frekari orkuöflunarframkvæmda". Rafmagnsveitur
ríkisins, Rarík 83204.

VIÐAUKI 1

Aðferðir

Í þessum viðauka verður gerð grein fyrir þeim aðferðum sem notaðar voru við reikninga í meginþexta.

Stofnkostnaður á orkueiningu er skilgreindur sem:

$$KO = \frac{\text{Áætlaður stofnkostnaður}}{\text{Orkumáttur kosts}} \quad (V.1-1)$$

Við útreikninga á orkuverði við stöðvarvegg er miðað við að nógildi tekna af orkusölu á afskriftatíma virkjunar jafngildi stofnkostnaði virkjunarinnar að viðbættu nógildi rekstrarkostnaðar á sama tímabili. Ekki er gert ráð fyrir samfelldum tekjustraumi heldur árlegum þrepum, þ. e.

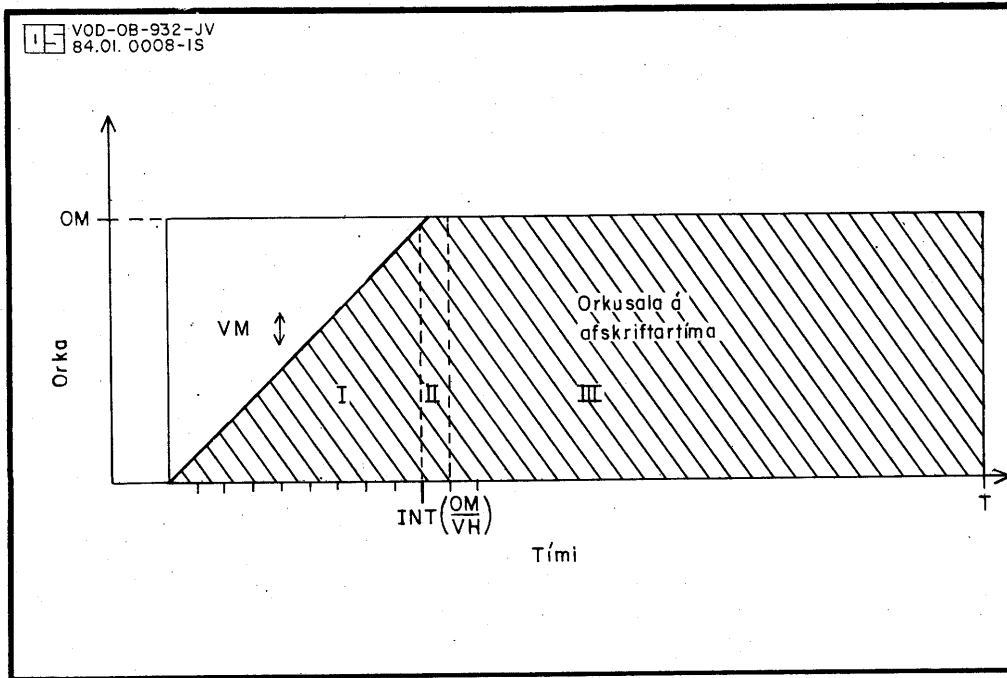
$$K + \sum_{t=1}^T \frac{U}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^T \frac{OS(t) * V}{(1+r)^t} \quad (V.1-2)$$

- t : Tímabreyta, ár
- K : Stofnkostnaður, kr
- U : Rekstrarkostnaður, kr
- OS(t) : Orkusala háð tíma, kWh
- V : Orkuverð við stöðvarvegg, kr/kWh
- r : Reiknivextir
- T : Afskriftatími

Gert er ráð fyrir að rekstrarkostnaður og orkuverð við stöðvarvegg sé fast að raunvirði út afskriftatíma virkjunarinnar. Því fæst orkuverð út frá jöfnu (V.1-2) sem:

$$V = \frac{K + \sum_{t=1}^T \frac{U}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{OS(t)}{(1+r)^t}} \quad (V.1-3)$$

Í meginþextanum er ýmist gert ráð fyrir að virkjun fullnýtist strax eða þá að markaðurinn vaxi línulega. Ef virkjun fullnýtist strax verður OS(t) fasti jafn orkumætti virkjunarinnar. Ef markaðurinn vex aftur á móti línulega verður OS(t) fall af tíma, sjá einnig mynd (V.1-1).



Mynd V.1-1 Nýting virkjunar við línulegan vöxt markaðar, skýringarmynd.

Fullnýting strax :

$$OS(t) = \text{Orkumáttur kosts} \quad (V.1-4)$$

Línulegur vöxtur markaðarins:

$$OS(t) = VM * (t - 1/2) \quad t \leq \text{INT}(OM/VM)$$

$$OS(t) = (OM/VM - \text{INT}(OM/VM)) * (VM * \text{INT}(OM/VM) + OM)/2 + (1 - (OM/VM - \text{INT}(OM/VM))) * OM$$

$$t = \text{INT}(OM/VM) + 1$$

$$OS(t) = OM \quad t > \text{INT}(OM/VM) + 1 \quad (V.1-5)$$

VM : Vöxtur markaðarins á ári (línulegur)

OM : Orkumáttur kosts

INT(X) : Heiltöluhluti X

Þessar jöfnur gera ráð fyrir að tekjur af orkusölu og rekstrarkostnaður komi inn einu sinni á ári, en ekki samfelld. Einnig mætti gera ráð fyrir að tekjur og kostnaður kæmu samfelld inn og fást þá eftirfarandi jöfnur:

$$K + \int_0^T \frac{U}{(1+r)^t} dt = V * \left(\int_0^T \frac{VM * t}{(1+r)^t} dt + \int_0^T \frac{OM}{(1+r)^t} dt \right) \quad (V.1-6)$$

Orkuverðið verður þá fyrir línulegan vöxt markaðarins:

$$\begin{aligned} & K + \int_0^T \frac{U}{(1+r)^t} dt \\ & \frac{VM}{OM} = \frac{VM * \int_0^T \frac{t}{(1+r)^t} dt + \int_0^T \frac{OM}{(1+r)^t} dt}{K * \log(1+r) + U * (1 - (1+r)^{-T})} \quad (V.1-7) \\ & = \frac{VM * (1 - (1+r)^{-OM/VM}) - OM * (\log(1+r) * (1+r)^{-T})}{\log(1+r)} \end{aligned}$$

Fyrir fullnýtingu strax fæst:

$$V = \frac{K * \log(1+r)}{OM * (1 - (1+r)^{-T})} + \frac{U}{OM} \quad (V.1-8)$$

Báðar þessar aðferðir eru nálganir á raunveruleikanum, en hér hefur fyrri aðferðin verið notuð.

Ef virkjun er áfangaskipt þarf að færa fjárfestingar við virkjunina á sameiginlegan tímapunkt, þ. e.

$$K = \sum_{i=1}^N \frac{KA(i)}{(1+r)^{TA(i)}} \quad (V.1-9)$$

- N : Fjöldi áfanga
- KA(i) : Kostnaður áfanga i
- TA(i) : Tímasetning áfanga i

Einnig breytast afskriftir þar sem mismunandi hlutar virkjunar afskrifast á mismunandi tíma.

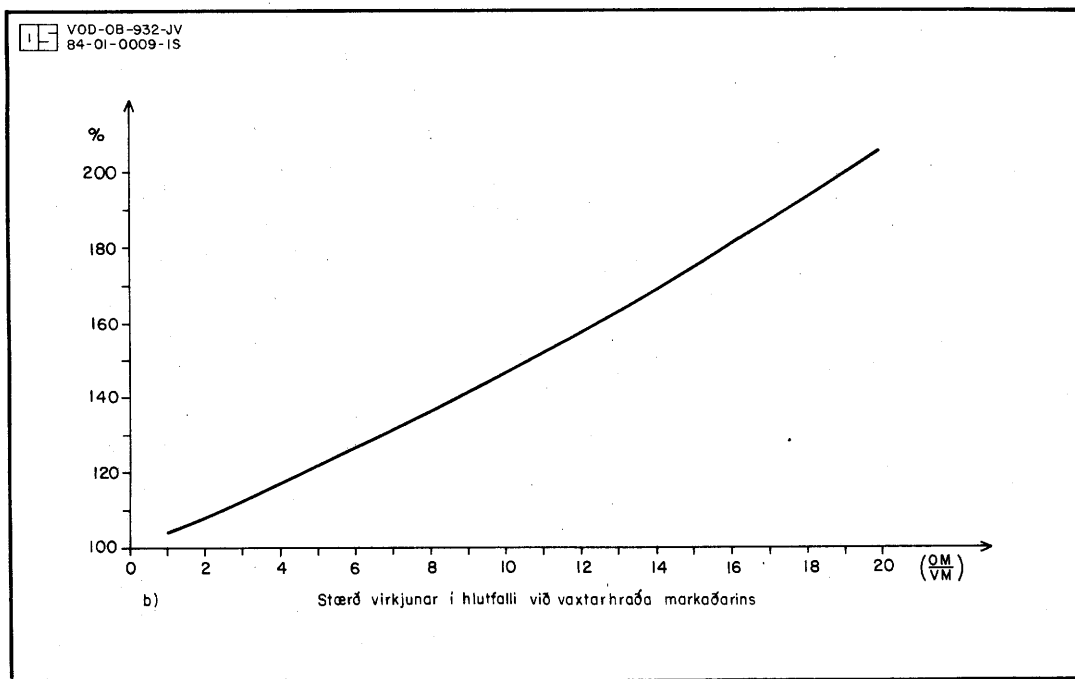
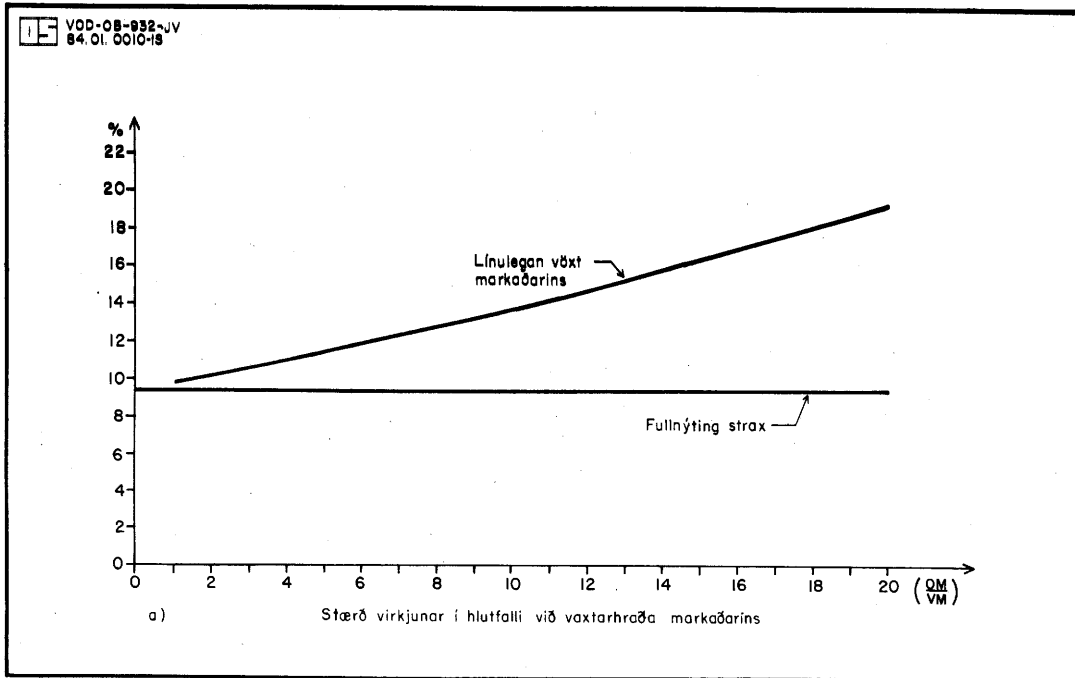
Í töflu V.1-1 er orkuverð við stöðvarvegg sýnt sem hlutfall af stofnkostnaði á orkueiningu fyrir misstórar virkjanir og línulegan vöxt markaðarins. Gert er ráð fyrir að árlegur

rekstrarkostnaður sé 1 % af stofnkostnaði, afskriftatími sé 40 ár og notuð jafna (V.1-3).

Tafla V.1-1 Orkuverð við stöðvarvegg fyrir misstórar virkjanir og línulegan vöxt markaðarins í % af stofnkostnaði á orkueiningu. Rekstrarkostnaður 1 % af stofnkostnaði á ári, 40 ára afskriftatími og 8 % reiknivextir.

| Hlutfallsleg stærð virkjunar miðað við vöxt markaðarins | Orkuverð við stöðvarvegg % Línulegur vöxtur markaðarins (1) | Hlutfall Fullnýting strax (2) | Hlutfall (1)/(2) |
|---|--|--|---------------------|
| 1 | 9,77 | 9,39 | 1,04 |
| 2 | 10,16 | | 1,08 |
| 3 | 10,57 | | 1,13 |
| 4 | 10,99 | | 1,17 |
| 5 | 11,41 | | 1,22 |
| 6 | 11,86 | | 1,26 |
| 7 | 12,31 | | 1,31 |
| 8 | 12,77 | | 1,36 |
| 9 | 13,25 | | 1,41 |
| 10 | 13,74 | | 1,46 |
| 11 | 14,24 | | 1,52 |
| 12 | 14,75 | | 1,57 |
| 13 | 15,27 | | 1,63 |
| 14 | 15,81 | | 1,68 |
| 15 | 16,36 | | 1,74 |
| 16 | 16,92 | | 1,80 |
| 17 | 17,49 | | 1,86 |
| 18 | 18,07 | | 1,92 |
| 19 | 18,67 | | 1,99 |
| 20 | 19,28 | | 2,05 |

Niðurstöðurnar í töflunni eru einnig sýndar á mynd V.1-2.

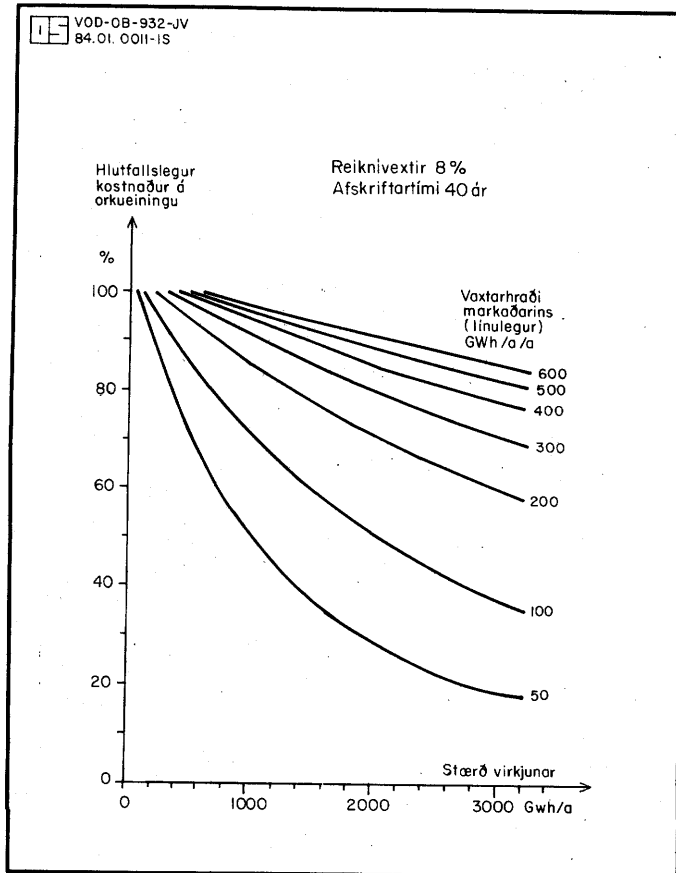


Mynd V.1-2 Orkuverð við stöðvarvegg við línulegan vöxt markaðarins. Rekstrarkostnaður 1 %, afskriftatími 40 ár og reiknivextir 8 %.

a) Í hlutfalli við stofnkostnað á orkueiningu.

b) Í hlutfalli við verð fyrir fullnýtingu strax.

Á mynd V.1-3 er sýnd ein túlkun á þessum niðurstöðum, þ. e. ferlar sem sýna hver stofnkostnaður á orkueiningu má vera fyrir misstórar virkjanir til að reiknað orkuverð við stöðvarvegg verði það sama fyrir þær.



Mynd V.1-3 Ferlar sem sýna hver stofnkostnaður á orkueiningu þarf að vera til að reiknað orkuverð við stöðvarvegg verði það sama fyrir misstórar virkjanir.

Við mat á líkindadreifingu orkuverðs við stöðvarvegg er notuð tölrun aðferð, svonefnd "Monte Carlo" aðferð. Þessi aðferð er mjög mikið notuð og verður henni ekki lýst hér. Með þessum reikningum fæst ekki jafna fyrir líkindadreifingu orkuverðs heldur fjöldi talna (t. d. 1000) sem eiga að vera dreifðar í samræmi við líkindadreifingu orkuverðsins.

VIÐAUKI 2

Virkjunarkostir á seinni rannsóknarstigum

Í töflu V.2-1 eru sýndar nokkrar einkennisstærðir virkjunarkosta á seinni rannsóknarstigum, þ. e. forhannaðir eða lengra komnir kostir.

Tafla V.2-1 Nokkrar einkennisstærðir virkjunarkosta á seinni rannsóknarstigum. Innan sviga eru áætlaðar tölur fyrir 6000 stunda nýtingu.

| Kennit. X.Y | Kostur | Afl MW | Orkumáttur GWh/a | Stofnkostnaður* Mkr |
|----------------|---------------|-----------|---------------------|------------------------|
| 9.2 | Blönduvirkjun | 150 | 750 | 2890 (2780) |
| +++++ | | | | |
| 7.2 | Búrfell II | 140 | 350 - 450 | 1600 |
| 7.2 | Fljótsdalsv. | 252 | 1325 | 5400 (5110) |
| 7.2 | Sultartangav. | 120 | 660 | 2850 (2800) |
| 7.2 | Villinganesv. | 30 | 190 | 750 (760) |
| +++++ | | | | |
| 6.2 | Vatnsfellsv. | 98 | 470 | 1620 (1530) |

* Verðlag í mars 1983, kostnaður framreiknaður með vísitölu byggingarkostnaðar.

Þegar virkjunarkostir á þessum stigum eru bornir saman er eðlilegt að taka tillit til kerfisins sem þeir eiga að bætast inn á. Samanburður á orkuverðum eins og hér að framan gefur ekki fullkomna mynd af hagkvæmni kosta, en með að taka tillit til kerfisins fæst áreiðanlegri samanburður. Um slíkan samanburð má t. d. lesa í skýrslu Orkustofnunar frá 1981 um virkjunarleiðir til aldamóta og ýmsum skýrslum Landsvirkjunar.

Út frá orkuverði við stöðvarvegg má á einfaldan hátt fá vissa hugmynd um hagkvæmni þessara kosta, en alls ekki má bera þau orkuverð sem hér eru fundin saman við þau sem reiknuð voru í megintextanum þar sem óvissa er mun meiri í þeim áætlunum. Tafla V.2-2 sýnir reiknuð orkuverð við stöðvarvegg fyrir þessa kosti. Búrfelli II er sleppt í þessari töflu þar sem erfitt er að skilgreina nákvæmlega vissa einkennisþætti virkjunarinnar og ef bera á hana saman við aðra virkjunarkosti verður að líta á kerfið í heild.

Tafla V.2-2 Stofnkostnaður á orkueiningu og orkuverð við stöðvarvegg fyrir kosti á seinni rannsóknarstigum.

| Kenni- tala X.Y | Kostur | Stofnkostnaður | | Orkuverð kr/kWh | | | |
|-----------------------|---------------|----------------|-----|-----------------|------|-----------|------|
| | | á orkueiningu | | Fullnýting | | Línulegur | |
| | | kr/kWh/a | | strax | | vöxtur | |
| | | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) |
| 9.2 | Blönduvirkjun | 3,9 | 3,7 | 0,36 | 0,35 | 0,48 | 0,47 |
| +++++ | | | | | | | |
| 7.2 | Fljótsdalsv. | 4,1 | 3,9 | 0,38 | 0,36 | 0,63 | 0,59 |
| 7.2 | Sultartangav. | 4,3 | 4,2 | 0,41 | 0,40 | 0,52 | 0,51 |
| 7.2 | Villinganesv. | 4,0 | 4,0 | 0,37 | 0,38 | 0,40 | 0,41 |
| +++++ | | | | | | | |
| 6.2 | Vatnsfellsv. | 3,5 | 3,3 | 0,32 | 0,31 | 0,39 | 0,37 |

(1) : Miðað við áætlun

(2) : Miðað við 6000 stunda nýtingu

Í megintextanum var einnig reynt að meta áhrif óvissu í áætlunum á reiknuð orkuverð og fá á þann hátt niðurstöður sem bera má saman, þó svo að kostir séu á mismunandi rannsóknarstigum. Eins og áður er miðað við óvissumörk fyrir stofnkostnað úr skýrslu Jóns Ingimarssonar o. fl. frá 1982 (upphaflega úr bréfi frá VST), en þar eru óvissumörkin:

| | |
|------------|----------------|
| Forathugun | 87 % til 140 % |
| Forhönnun | 92 % til 125 % |
| Verkhönnun | 95 % til 116 % |
| Útboðsstig | 97 % til 110 % |

Fyrir orkumátt eru hér notuð eftirfarandi óvissumörk:

| | |
|------------|----------------|
| Forathugun | 75 % til 110 % |
| Forhönnun | 85 % til 106 % |
| Verkhönnun | 90 % til 104 % |
| Útboðsstig | 94 % til 102 % |

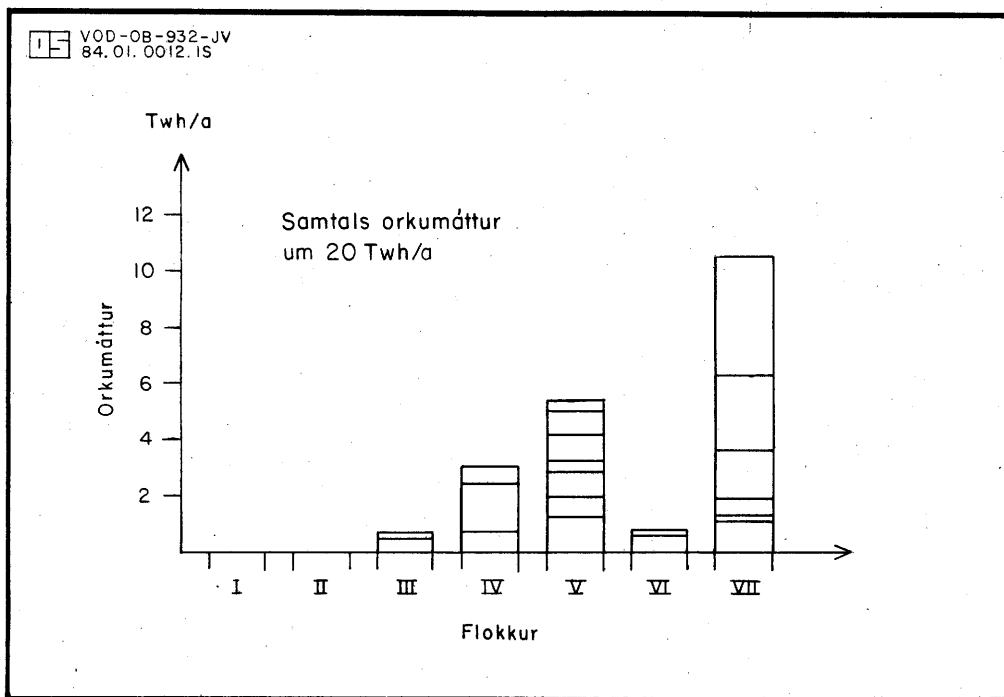
Óvissa í áætlunum um virkjunarkosti sem hér um ræðir er metin þannig að fyrir Blöndu sé hún jöfn óvissu á útboðsstigi, fyrir Fljótsdal, Sultartanga og Villinganes jöfn óvissu á verkhönnunarstigi og fyrir Vatnsfell jöfn óvissu á forhönnunarstigi.

Notaðar voru líkindadreifingar sem sýndar eru í megin-texta og kostir flokkaðir á sama hátt og þar. Niðurstöður eru sýndar í töflu V.2-3.

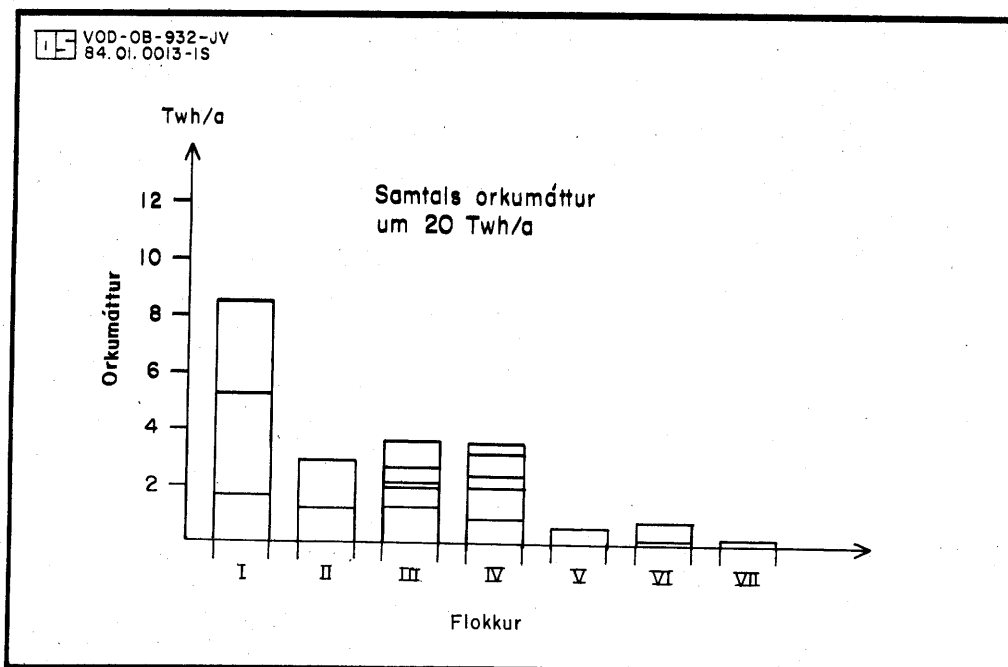
Tafla V.2-3 Flokkun virkjunarkosta miða við 6000 klst. nýtingu virkjana á ári.

| Kenni- tala | Kostur | Vöxtur 100 GWh/a/a | | Fullnýting strax | |
|----------------|---------------|-----------------------|-----|---------------------|----|
| | | Vextir % | 8 | 6 | 8 |
| 9.2 | Blönduvirkjun | IV | II | II | II |
| 7.2 | Fljótsdalsv. | V | IV | III | II |
| 7.2 | Sultartangav. | V | III | III | II |
| 7.2 | Villinganesv. | III | II | III | II |
| 6.2 | Vatnsfellsv. | III | II | II | II |

Ef tafla V.2-3 er borin saman við töflu 26 í megin-textanum má ætla að kostir á seinni rannsóknarstigum séu tiltölulega hagkvæmir. Ef aftur á móti borin eru saman reiknað orkuverð mætti ætla að þessir kostir væru alls ekki svo hagkvæmir, og sýnir þetta hve varhugavert er að bera saman reiknað orkuverð fyrir kosti á mismunandi rannsóknarstigum. Á myndum V.2-1 og V.2-2 er flokkun virkjunarkosta sýnd á sama hátt og á myndum 4 og 5 í megin-texta.



Mynd V.2-1 Flokkun virkjunarkosta við línulegan vöxt markaðarins um 100 GWh/a/a og 8 % reiknivexti.



Mynd V.2-2 Flokkun virkjunarkosta við fullnýtingu virkjana strax og 8 % reiknivexti.

VIÐAUKI 3

Samanburður við önnur lönd

Í grein eftir J. L. Gordon frá 1983 er litið á fjöldann allan af áætlunum um vatnsaflsvirkjanir frá mörgum löndum og reynt að meta samband uppsetts afls, fallhæðar og stofnkostnaðar. Í greininni er eftirfarandi jafna talin gefa góða mynd af þessu sambandi:

$$C = k * (MW/H^{0,3})^{0,82} \quad (V.3-1)$$

Þar sem:

C : Stofnkostnaður
MW : Uppsett afl
H : Fallhæð
k : Fasti

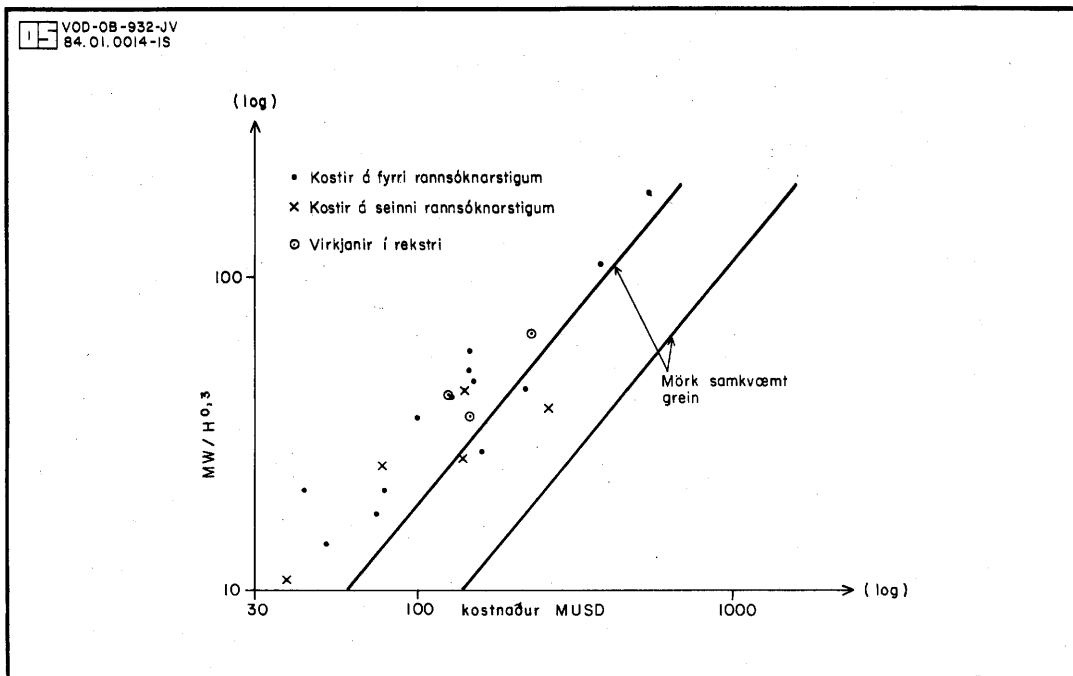
Gildi á fastanum k fyrir stofnkostnað í USD á verðlagi ársins 1982 er áætlað í greininni:

Minnsta gildi : $9 * 10^6$
Meðalgildi : $15 * 10^6$
Stærsta gildi : $21 * 10^6$

Nú er forvitnilegt að athuga hve vel þetta gildir fyrir áætlanir um íslenskar vatnsaflsvirkjanir. Á mynd V.3-1 er sýnt samband stofnkostnaðar og $MW/H^{0,3}$ fyrir kostina sem litið var á hér að framan jafnframt því sem línurnar sem samsvara minnsta og stærsta gildi fastans k eru sýndar. Taka ber fram að myndin sýnir ekki hver hagkvæmni einstakra kosta er í samanburði við aðra kosti.

Flestir kostanna lenda utan þeirra marka sem sett voru fram í greininni og vaknar því sú spurning hver sé ástæðan. Það sem hér gæti verið um að ræða er:

- Að virkjunarkostir vatnsorku á Íslandi, sem gerðar hafa verið áætlanir um á síðustu árum, séu mun hagkvæmari en þeir kostir sem aðrar þjóðir hafa úr að spila.
- Að stofnkostnaður sé vanmetinn í áætlunum um íslenska virkjunarkosti.
- Að umreikningur frá íslensku verðlagi yfir í dollara valdi skekkju.



Mynd V.3-1 Samband stofnkostnaðar og $MW/H^{0,3}$ fyrir virkjanir hér á landi. Miðað er við nýtingu 0,6 (tæpar 5300 stundir á ári).

Allir þessir þættir eiga e. t. v. einhvern þátt í því að kostir lenda utan marka. Ólíklegt verður að teljast að umreikningur yfir í dollara geti skýrt allan þann mun sem fram kemur. Áætlanir eru framreiknaðar með vísitölu byggingarkostnaðar til verðlags í mars 1983 og færðar yfir á dollaraverðlag með meðalgengi þess mánaðar, en í grein Gordons er miðað við verðlag árið 1982 og 12 % verðbólgu í dollurum frá árinu 1977. Vitað er að stofnkostnaður virkjana hefur hækkað hraðar en vísitalan og veldur það einhverri skekkju, en þar á móti kemur að miðað er við dollaraverðlag ársins 1983.

Líklegt er að virkjunarkostir sem áætlanir eru uppi um hér á landi séu að einhverju marki hagkvæmari en kostir sem margar aðrar þjóðir hafa verið að gera áætlanir um á síðustu árum. Einungis lítill hluti vatnsorkunnar hér á landi hefur verið nýttur á meðan flestar aðrar þjóðir hafa þegar nýtt hagkvæmasta hluta vatnsaflsins. Virkjanir sem nú eru í rekstri í Þjórsá/Tungnaá lenda utan markanna og styður það að einhverju marki þessa röksemd. Þar á móti kemur að e. t. v. verða "áætlanir" sem gerðar eru eftirá ódýrari þar sem allar aðstæður eru þekktar.

Í viðauka 2 kom í ljós að reiknað orkuverð kosta á fyrri rannsóknarstigum virtust tiltölulega lág miðað við reiknað orkuverð kosta á seinni rannsóknarstigum. Ef aftur á móti tekið er tillit til óvissu í áætlunum og litið á 10 % vikiörk fékkst betra samræmi milli kosta á fyrri og seinni stigum. Þetta bendir til að í áætlunum á fyrri rannsóknarstigum sé um vanmat að ræða. Ef litið er á myndina hér að framan sést að þrír af fimm kostum á seinni rannsóknarstigum eru utan markanna, en það eru Sultartangi, Vatnsfell og Villinganes. Ef Sultartangastíflan hefði verið tekin með virkjuninni hefði hún færst mun nær mörkunum þó svo að hún hefði ekki lent innan þeirra. Vatnsfellsvirkjun er sérstakt dæmi þar sem um einfalda virkjun er að ræða sem byggir á miðluninni í Þórisvatni og má því segja að eðlilega sé hún tiltölulega ódýr.