

VATNSAFL ÍSLANDS

Haukur Tómasson
Orkustofnun
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

INNGANGUR

Í yfirliti á Orkuþingi 1981 var gerð grein fyrir mati á stærð þeirrar orkulindar, sem fólgin er í fallvötnunum, þ.e. vatnsaflí Íslands (Haukur Tómasson 1981). Hér er byggt á sömu gögnum, en nánar farið yfir landfræðilegar forsendur, og þær bornar saman við skilyrði í öðrum löndum.

FALLORKAN Í VATNINU

Fallorka vatnsins verður aðeins nýtt þar sem það rennur á yfirborði, en hún er hluti þeirrar orku sem fólgin er í því vatni sem á landið fellur sem regn eða snjór (tafla 1). Hér á eftir er yfirlitt talað um vatnsafl undir formerkjum orkugetu, en hún er samsett úr tveimur liðum, afli og nýtingartíma. Aflið er útreiknuð stærð, eins og að neðan getur, nýtingartíminn er breytilegur, en í þessum útreikningum er hann settur 5.000 tímar á ári.

TAFLA 1. Greining á vatnsaflí og nýtanleika þess á Íslandi

	Orkugeta		Afl MW
	TWh/a	PJ	
Í úrkomunni	252	907	28350
Í rennandi vatni	187	673	21350
Í árfarvegum	96	346	10950
Nýtanleg orka	64	230	7300

1 TW = 1.000 GW = 1000.000 MW = 1.000.000.000 kW

1 P (peta) = 1.000 T (tera).

1 kWh = 3,6 MJ

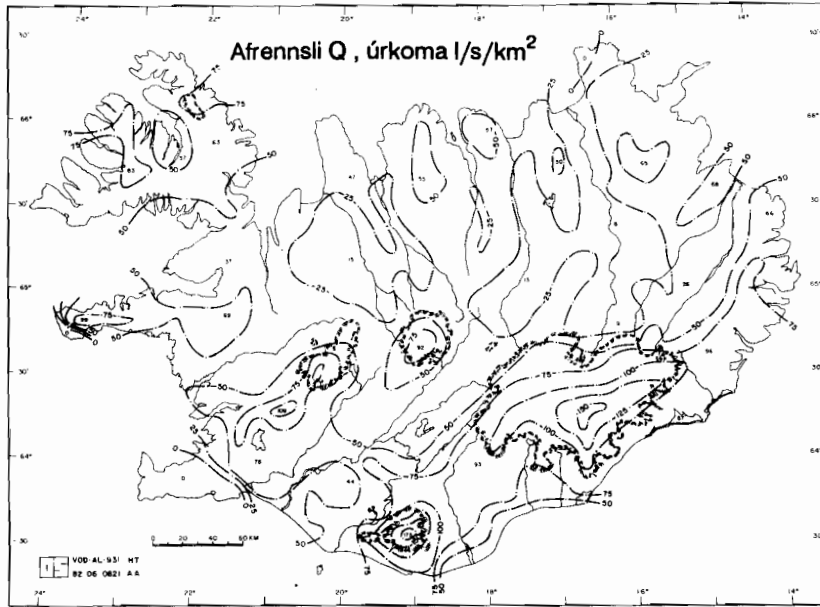
Vatnsaflíð er ákaflega einfalt fyrirbæri og má lýsa því svo fullnægjandi sé sem margfeldi af

rennsli, fallhæð og þyngdarhröðun. Þyngdarhröðunin er alls staðar eins, og er því breytileiki í vatnsaflí eingöngu háður landslagi og rennsli. Allt rennsli á rætur sínar að rekja til úrkomu sem fallið hefur á jörðina. Með orku í úrkomunni er átt við þá orku sem fengist með falli vatnsdropanna frá þeim stað (hæð), þar sem þeir falla á landið, lóðrétt að sjávarmáli. Úrkoman á mismunandi stöðum á landinu er fengin af einhverskonar úrkomukortum. Þau eru byggð á útreikningum út frá beinum úrkomumælingum, en þó að stærstum hluta áætluð á grundvelli rennislismælinga (myndir 1 og 2, sjá ennfremur Haukur Tómasson 1982). Af þeim sökum vantar tvennt í matið á afrennsli í úrkomu, þ.e. það sem gufar upp og það sem rennur sem jarðvatn til sjávar. Á mynd 3 er ferli úrkomunnar, sem á landið fellur, sýnd á stílfærðan hátt (Haukur Tómasson 1982; sjá einnig Haukur Tómasson og Sigurður Þórðarson 1987).

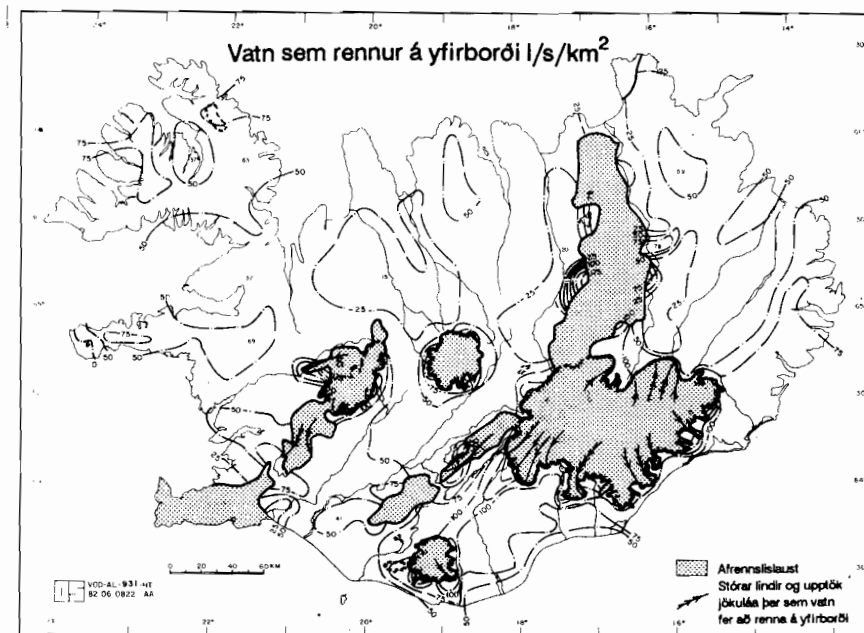
Landslagsþátturinn er fundin af kortum með því að skipta landinu niður í reiti og finna meðalhæð hvers um sig. Þegar um er að ræða reiti sem jöklar setja mestan svip á er hæð reitsins sett við jökuljaðar, og á sama hátt er hæð áberandi lindasvæða látin ráða hæð í reitum þar sem lindavatn er ráðandi.

Munurinn á orkunni í úrkomunni og í rennandi vatni er 65 TWh/a og fer sú orka í að:

- knýja jökulstreymið,
- knýja vatnsrennsli í gegnum jöklana,
- knýja jarðvatnsstraumana.

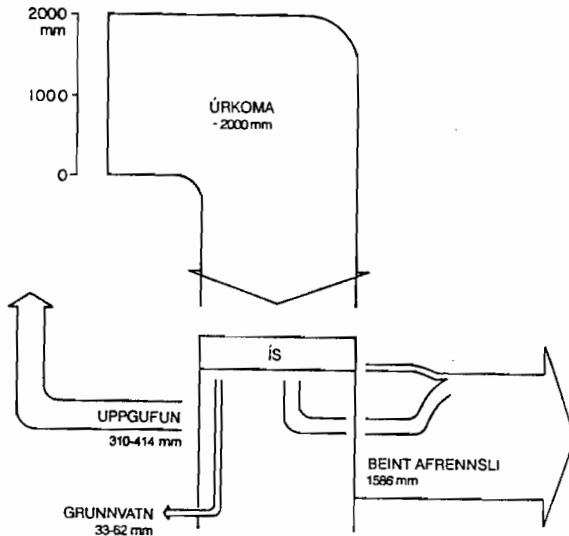


MYND 1. Afrennsliskort, beint afrennsli miðað við staðinn þar sem úrkoman fellur á landið.



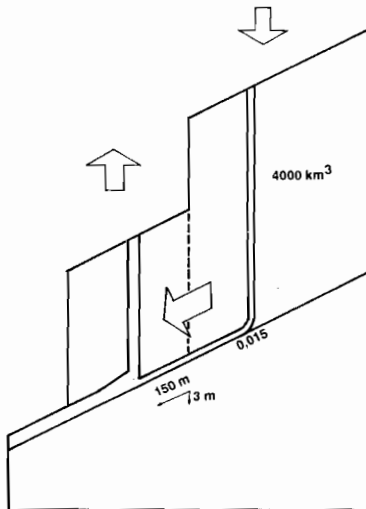
MYND 2. Afrennsliskort, þar sem afrennslið er miðað við staðinn þar sem vatnið fer að renna á yfirborði.

VOD SK 840 HT
82 11 1996 00



MYND 3. Hringrás vatnsins; úrkoma og rennslisleiðir.

VOD SK 916 HT
90 04 0136 AA



SKÝRING:
Orvar benda á úrkomu, afnám og streymi jökuls

MYND 4. Einfölduð sniðmynd af hreyfingu jökuls.

Ekkert liggur fyrir um það hve mikil orka fer til einstakra þátta, og verða þessar stærðir ekki auðveldlega mældar, því að streymið er allt undir yfirborði, en í eftirfarandi dæmum er reynt að slá á orkueyðslu þessara þátta. Á mynd 4 er þversnið í ímyndaðan skriðjökul, sem inniheldur allan jökulís á Íslandi. Þessi skriðjökull hreyfist í föstu formi eftir einskonar skábretti. Hann fær viðbót á ákomusvæði sínu er bráðnar alls staðar, mest þó á afnámssvæðinu. Vatnsorkan í þessu kerfi er fólgin í hreyfingu jökulsins niður eftir skábrettinu og falli leysingarvatnsins gegnum jökulinn.

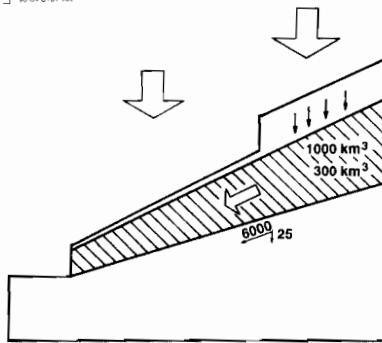
TAFLA 2. Dæmi sett upp til að nálgast orkueyðslu í jökulum.

A) Jökulsinn	
Rúmmál	4.000 km ³
Halli á botni jökuls	0,015
Rennslis hraði	150 m/ár
Fall	2,25 m/ár
Orka	25 TWh/ár
B) Rigning og leysing	
Af safnsvæðum	1 m/ár
Meðalfall	500 m
Af afnámssvæðum	5 m/ár
Meðalfall	300 m
Orka	23 TWh/ár
Orka alls:	48 TWh/ári

Á mynd 5 er þversnið af ímynduðum allsherjar jarðvatnsstraumi af landinu, sem leiðir vatnið um lekasta jarðvatnsleiðarann frá miðhálandinu til sjávar.

Vatnsorkan leysist út við lóðrétt fall vatnsins frá yfirborði niður í jarðvatnsstrauminn og við það að knýja jarðvatnsstrauminn. Einnig má hugsa sér aðra jarðvatnsstrauma við minnkandi vatnsleiðni og holrýmd. Með tífoldri minnkun vatnsleiðni milli þessara strauma verður eingöngu sá sem hefur næstmesta lekt með mælanlega orku í þessu sambandi.

VOD 5K 9/16.HH
9014-0137.AA



SKÝRINGAR:

Vatnsleiðari 1000km²
Vatn í honum 300km³
Órvar merkja úrkomu og jarðvatnsstraum

MYND 5. Einfölduð sniðmynd af jarðvatnsrennsli.

TAFLA 3. Dæmi sett upp til að áætla orku sem fer til að knýja grunnvatnsstrauma.

Lóðréttur leki	4 km ³ /ár
Fall	200 m
Lekasti vatnsleiðarinn	1000 km ³
Vatn	300 km ³
Halli	0.004
Lektarstuðull (k)	0.05 m/s
Rennslishraði	6000 m/ár
Fall	24 m/ár
Orka lekasta vatnsleiðarans	19 TWh/ár
Orka lóðrétt	2 TWh/ári
Orka næstlekasta vatnsleiðarans	2 TWh/ár
Orka alls:	23 TWh/ár

Samkvæmt þeim dæmum sem hér eru sett upp gæti mismunaorkan milli úrkomu og rennandi vatns skipst nokkuð jafnt á þessa 3 flokka. Ónákvæmni í þessum áætlunum er mikil, en randskilyrðin eru að enginn þessara flokka er 0 og þar af leiðir að enginn þeirra tekur til sín alla tiltæka orku. Af þessu leiðir að varla er rúm fyrir meiri ónákvæmni en +/- 50% í þessum áætlunum.

Vatnsorkan reiknuð á reitum innifelur rennsli

yfir landið á yfirborði eða rétt við yfirborðið til farveganna, og í farvegunum. Á Vestfjörðum hefur verið gerð tilraun til að áætla hversu stór hluti orkunnar er í vatnsfarvegum og er niðurstaðan sýnd í töflu 4. Farvegakerfinu er hér, þvert á venju, skipt í stig eftir grófleika þeirra. Fínustu farvegirnir, upphafsfarvegirnir eru 1. stig. Þegar tveir 1. stigsfarvegir koma saman verður úr því 2. stig og þannig koll af kalli til herra stigs og stærri og vatnsmeiri farvega. Þessir reikningar eru gerðir af Halínu Bogadóttur, jarðeðlisfræðingi.

TAFLA 4. Reiknuð orka í farvegum af mismunandi tagi á Vestfjörðum.

Stig	Fjöldi ána	Heildar lengd (km)	Orka GWh/a
1	3059	4116	2470
2	613	1450	3500
3	134	617	3900
4	19	82	880
5	2	6	50
Samtals í farvegum			10900
Samtals af reitum			14900

Sennilega er þessi munur á orku í farvegum og í reitum meiri á Vestfjörðum en víða annars staðar á landinu vegna langrar strandlengju þeirra og þar af leiðandi nokkuð stórra svæða með afrennsli beint í sjóinn.

Ef orka vatnsfalls reiknast meiri en 1 MW á 5 km löngum kafla er hún talin nýtanleg samkvæmt skilgreiningu. Reiknað er með 90% nýtingu rennslis og frá dregið falltap og orkan í náttúrfarslega óvirkjanlegum hluta farvegakerfisins. Samkvæmt þessari skilgreiningu hefur nýtanleg orka á landinu verið áætluð um 64 TWh/ári. Þessir útreikningar eru algerlega óháðir hugmyndum um virkjanir. Tiltækar eru hugmyndir um virkjanir, sem svara til um helmings þessarar orkugetu. Áætla má að þær séu nálægt því að vera rjóminn af vatnsorku landsins. Mismunurinn, eða um 30 TWh/ár, er þá líklega í smáum, dreifðum virkjun-

arkostum, samsvarandi orku sem hefur verið virkjuð í bændavirkjunum og ýmsum smávirkskjúnum frá fyrri skeiðum í rafvæðingu landsins.

Vatnsorka er nýtanleg þegar viss skilyrði rennslis og landslags eru fyrir hendi. Þessi skilyrði eru að margfeldi rennslis og fallhæðar sé sem hæst (minnst samsvarandi 1MW á 5 km leið), að dreifing rennslis í tíma sé hagstæð, að landslag og jarðfræðileg skilyrði, sem áhrif hafa á stíflugerð og aðra mannvirkjagerð vegna virkjana, séu heppileg. Jákvæð rennsliseinkenni eru fyrst og fremst hár lindaþáttur, sem jafnar mjög rennslíð innan árs og jafnvel milli ára. Jákvæð landslagsskilyrði eru til dæmis þröngir farvegir eða gljúfur hentug sem stíflustæði, eða flatlendi á hálendi fyrir miðlanir gjarnan ofan heppilegs stíflustæðis.

Þessi landslagsskilyrði og reyndar einnig rennslisskilyrði eru mjög háð landmótun og jarðfræði. Á mynd 6 er landmótun landsins skýrð. Landið mótast af samspili innrænna afla annars vegar og útrænna hins vegar. Innrænu öflin, aðallega eldvirknin, byggja upp landið og slétta, en útrænu öflin, aðallega gröftur vatns í öllu formi, grafa í landið gljúfur og dali. Það er samspil þessara afla sem hefur skapað landslagslegu virkjanaskilyrðin. Þau eru best þar sem hásléttan er samfelld en inn í hana grafnir dalir. Oft eru rennsliseinkenni þar einnig hagstæð vegna þess hve lindaþáttur ungu eldvirku svæðanna er stór. Þróun dalamyndunar eyðileggur smám saman skilyrði til virkjana með því að skera sundur allt hálendi og breyta í fjalllendi. Þegar þannig er komið verður mesta fallið innarlega á landinu, þar sem rennslíð er lítið, en lítið fall utar og neðar þar sem rennslíð er verulegt.

Virkjanir eru þrennskonar eftir því hvernig farið er að því að ná sem mestu falli:

- 1) með stíflum;
- 2) með vatnsvegum;
- 3) með blöndu af þessu.

Miðlanir eru af 4 gerðum eftir því hvernig farið er að því að skapa sem mest geymslurými fyrir vatn:

- 1) í stöðuvötnum með niðurdrætti;

- 2) í stöðuvötnum með hækkun;
- 3) blanda af þessu tvennu;
- 4) á tiltölulega flötu landi.

Kostnaður við gerð stíflna er óháður rennslis en er fall af hæð í öðru veldi og lengd í fyrsta. Kostnaður við vatnsvegi er háður rennslis, en misjafnlega eftir gerð þeirra. Eftirfarandi eru einfaldaðar kostnaðarjöfnur sem eiga við þessi mannvirki. Allar eiga þær að margfaldast með lengd.

$$\begin{aligned} \text{Pípukostnaður:} & \quad KP = k \cdot Q^{**n} \\ \text{Jarðgangakostnaður:} & \quad KG = c + k \cdot Q^{**n} \\ \text{Skurðkostnaður:} & \quad KSk = k \cdot Q^{**n} + R \end{aligned}$$

Fastinn k er stærstur fyrir pípur, en minnstur fyrir skurði. Veldisvísirinn n er minni en 1, stærstur fyrir skurði. Kostnaður lágmarksganga er c og rúmmál ofan vatnsborðs í skurðum er R . Virkjunarfyrirkomulag fylgir rennslis þannig að fyrir minnsta rennslíð er líklegast að virkjað sé með pípu, þá með jarðgöngum eða skurðum og fyrir mesta rennslíð með stíflum.

Landinu má skifta í 4 svæði eftir virkjanleika. Þau eru:

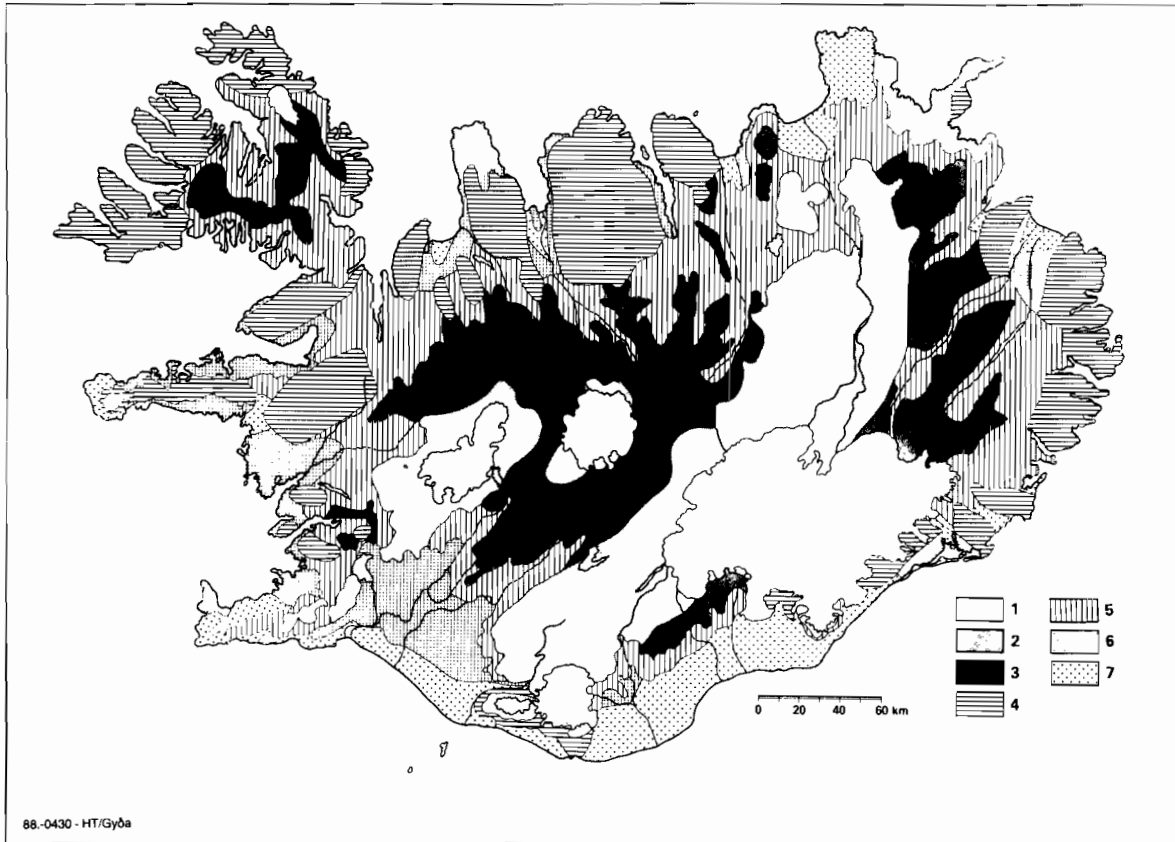
- 1) jaðrar miðhálandisins;
- 2) láglandi;
- 3) annað hálendi;
- 4) fjalllendi.

Í fyrsta flokki er rjóminn úr vatnsorku landsins. Miðlanir eru á flatlendi uppi á hálendinu, og vatnsvegir geta oft verið skurðir. Fall er hátt og rennslíð verulegt.

Annar flokkurinn er næst mikilvægastur. Rennslíð er oft mikið og jafnt vegna lindaréinkenna, en fall er frekar lítið. Miðlanir eru takmarkaðar en oftast í stöðuvötnum.

Annað hálendi, sem er á Vestfjörðum og Austfjörðum, er hægt að virkja við hálendisbrún, sem yfirleitt er há og brött. Fall er því mikið en rennslíð lítið. Miðlanir eru í stöðuvötnum en frekar takmarkaðar.

Fjallendið er erfiðast til virkjunar vegna skorts á miðlunum og venjulega lítills rennslis í hverri á. Engar virkjanir eru nú í fjallendi hér á landi.



MYND 6. Landmótunarkort af Íslandi, sem sýnir þær landslagseiningar, sem mest áhrif hafa á virkjanleika vatnsafls. 1. Háslétta, nýleg hraun og setsöfnun. 2. Háslétta af millialdri. 3. Gömul grafin háslétta. 4. Fjalllendi, grafnir stuttir dalir. 5. Langir grafnir dalir. 6. Láglandi, ýmist grafið eða sléttað. 7. Láglandi, nýleg setsöfnun og hraun.

SAMANBURÐUR VIÐ ÖNNUR LÖND

Það er áhugavert að bera virkjunaraðstæður á Íslandi saman við önnur lönd. Helst er þá lítið til nágrannalöndanna, sem flest hafa beislað mikla vatnsorku. Eftirfarandi punktar eru þá athyglisverðastir:

- 1) Í stórárn með yfir 1000 m³/s rennsli er yfirleitt virkjað með stíflum og með skurðum það sem á vantar. Hér á landi eru fáar hugmyndir um stífluvirkjanir.
- 2) Í Noregi er vatnsorkan mest virkjuð frá hálandisbrún niður í fjörð eða dal. Þetta eru aðstæður svipaðar flokknum „annað hálandi“ hjá okkur. Hálandið er þó oftast mun stærra og fall töluvert meira en í virkjunum í þessum flokki hjá okkur. Miðlun er mjög mikil hjá Norðmönnum og nær öll í stöðuvötnum. Vatnsvegir eru jarðgöng og sérstök tækni er þróuð til gangagerðar inn í botn stöðuvatna.
- 3) Í Svíþjóð er vatnsorkan virkjuð í mörgum þrepum eftir árfarvegnum, og miðlað í stór-

um stöðuvötnum við rætur fjallanna. Þetta eru svipaðar aðstæður og fyrir hluta af þeirri vatnsorku, sem er á láglendi hérlendis. Fall er því frekar lítið en rennsli mikið. Vatnsvegir eru yfirleitt fremur stutt jarðgöng.

- 4) Í Ölpunum er virkjað í fjallendi í stórum stíl. Yfirleitt er rennsli lítið og skilyrði til miðlunar mjög léleg, en fall mikið. Vatnsvegir eru göng eða pípur. Skilyrðin eru eins á Íslandi nema hér er fallhæð miklu minni. Við nýtum þessa möguleika ekki, vegna þess að við eigum annarra og miklu betri kosti.
- 5) Miðhálandið íslenska á sér ekki samsvörun í nágrannalöndum okkar. Eldvirknin hefur skapað þessa mjög flatlendu hásléttu, en hún er undirstaða stórs hluta, og þess ódýrasta, af vatnsorku okkar. Þessi óvenjulegu skilyrði kunna að krefjast áræðni og frumleika af okkar hálfu til þess að við fáum að njóta ávaxtanna af þessari auðlind.

HEIMILDIR

Haukur Tómasson 1981. *Vatnsafl Íslands, mat á stærð orkulindar*. Erindi flutt á Orkuþingi 1981.

Haukur Tómasson 1982. *Vattenkraften i Island och dess hydrologiska förutsättningar*. Orkustofnun, OS-82059/VOD-10.

Haukur Tómasson og Sigurður Þórðarson 1987. *Vatnsorka á Íslandi, hugmyndir um spamað, markað og samkeppnishæfni*. Orkustofnun, OS-87030/VOD-03. 43 s.

