



ORKUSTOFNUN
Vatnsorkudeild

**Áætluð ársgeta raforkukerfisins
frá 1873 til 1982**

Jón Ingimarsson, Orkustofnun
Verkfræðistofan Strengur

OS-86013/VOD-06 B

Mars 1986



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr.: 942

**Áætluð ársgeta raforkukerfisins
frá 1873 til 1982**

Jón Ingimarsson, Orkustofnun
Verkfræðistofan Strengur

OS-86013/VOD-06 B

Mars 1986

EFNISYFIRLIT

	bls.
1 INNGANGUR	3
2 REIKNAD RENNSLI Í ÜLFUSÁ 1873-1982	3
3 ÁRSGETA VIRKJANAKERFISINS FRÁ 1873 TIL 1982	5

TÖFLUSKRÁ

TAFLA 1 Hiti og úrkoma í Stykkishólmi ásamt mældu og reiknuðu rennsli í Ülfusá	5
TAFLA 2 Samanburður á útreiknaðri ársgetu skv. jöfnu 4 og útreikningum Verkfræðistofunnar Strengs á ársgetu virkjanakerfisins fyrir tímabilið 1950 til 1982	7
TAFLA 3 Meðaltöl, staðalfrávik og mesta og minnsta ársgeta virkjanakerfisins fyrir mismunandi tímabil. (Allar tölur í GWh/a)	10

MYNDASKRÁ

MYND 1 Ársgeta virkjanakerfisins 1873-1982 fengin með línulegri fylgnigreiningu	8
MYND 2 Stöplarit og tíðniföll ársgetu virkjanakerfisins samkvæmt fylgnigreiningu fyrir tímabilin 1973-1982, 1877-1909, 1921-1953 og 1950-1982	9
MYND 3 Ársgeta virkjanakerfisins 1873-1982 fengin með rekstrareftirlíkingu	11
MYND 4 Stöplarit og tíðniföll ársgetu virkjanakerfisins samkvæmt rekstrareftirlíkingu fyrir tímabilin 1873-1982, 1877-1909, 1921-1953 og 1950-1982	12

1 INNGANGUR

Í umræðum um rekstraröryggi vatnsorkuvera er oft bent á áhrif langtímasveiflna í veðurfari á rennsli vatnsfalla. Í þessu sambandi hafa einkum verið nefnd kuldatímabilin í lok 18. og 19. aldar. Einnig er bent á að tímabilið frá 1920 sé það hlýjasta frá lokum þjóðveldistímabilsins og að við áætlanir um uppbyggingu vatnsorkukerfisins sé nauðsynlegt að taka tillit til þessa, þannig að nægilegt öryggi sé tryggt. Til áréttingar þessu hefur jafnframt verið bent á að í köldum árum sé að öðru jöfnu meiri raforkubörf.

Í starfshópi um endurskoðun á aðferðum við mat á orkugetu vatnsorkuvera og rekstri þeirra hefur talsvert verið fjallað um þetta og var veturinn 1984-85 kannað hvort unnt væri að nota mælingar á hita og úrkomu í Stykkishólmi, á Teigarhorni og öðrum veðurstöðvum sem hófu rekstur á síðustu öld, til að áætla ársrennsli í nokkrum ám, sjá Laufeyju B. Hannesdóttur, 1986. Í framhaldi af vinnu Laufeyjar var ákveðið að reyna að nota reiknaða rennslisröð fyrir Ölfusá frá 1873 til 1982 til að meta hversu mikilli eftirspurn eftir raforku hefði verið hægt að sinna með núverandi virkjunarkerfi í hverju einstöku ári og fjallar þessi skýrsla um þá vinnu. Nauðsynlegt er að taka þessum reikningum með fyrirvara. Ljóst er að einungis getur verið um að ræða grófa nálgun á því hvaða markaði núverandi virkjanakerfi gæti annað í svipuðu árferði og var hér á landi í lok síðustu aldar og upphafi þessarar. Ýmsar forsendur verður að gefa sér t.d. að hiti og úrkoma hafi verið mæld með sömu nákvæmni allt tímabilið frá 1873 og að ástandi og viðbrögðum jöklanna við breyttu veðurfari megi lýsa með einföldum línulegum jöfnum.

Auk höfunda hafa Árni Snorrason, Hörður Svavarsson og Kristinn Einarsson á Orkustofnun lagt verkefninu lið.

2 REIKNAÐ RENNSLI Í ÖLFUSÁ 1873-1982

Eins og fram kemur í inngangi kannaði Laufey B. Hannesdóttir*) s.l. vetur með nokkrum dælum hvort unnt væri að nota mælingar á hita og úrkomu til að reikna rennsli í ám landsins.

Mælingar á eftirtöldum veðurstöðum voru notaðar:

Akureyri,	hiti frá 1882.
Eyrbakkí,	úrkoma 1880-1910 og frá 1923.
Reykjavík,	úrkoma 1884-1906 og frá 1919.
Stykkishólmur,	hiti og úrkoma frá 1873.
Teigarhorn,	hiti og úrkoma frá 1873.

*) Laufey B. Hannesdóttir, 1986: Lenging rennslisraða út frá veðurmælingum allt frá 1873. Orkustofnun, OS-86012/VOD-05 B.

Reynt var að reikna rennsli í eftirtöldum ám:

Mælistaður	Mælingatímabil
Blanda við Guðlaugsstaði	1950-1983
Jökulsá á Fjöllum við Dettifoss	1940-1983
Jökulsá á Dal við Hjarðarhaga	1964-1983
Lagarfljót við Lagarfoss	1950-1983
Þjórsá við Urriðafoss	1948-1983
Ölfusá við Selfoss	1951-1983

Við reikningana var notuð svokölluð línuleg fylgnigreining, þ.e. fundið var línulegt samband milli mælds rennslis í viðkomandi á og mælinga á hitastigi og úrkomu:

$$Q = A + B \times H + C \times \dot{U}, \quad (1)$$

þar sem Q er ársmeðalrennsli í ánni í m^3/s ,
 H er ársmeðalhiti á veðurstöð í $^{\circ}C$,
 \dot{U} er ársúrcoma á veðurstöð í mm ,
 A , B og C eru fastar, metnir með fylgnigreiningu.

Með fylgnigreiningu verður meðaltal reiknaða rennslisins það sama og meðaltal mælda rennslisins, en einungis tekst að skýra hluta af breytileika mældu raðarinnar. Einkum tekst illa að líkja eftir lögstu og hæstu gildunum. Þennan eiginleika, sem aðferðinni fylgir, ber að hafa í huga við mat á áreiðanleika reiknaða rennslisins, sérstaklega með tilliti til þess að fyrsta hluta tímabilsins, sem reikningarnir ná yfir, þ.e. í lok síðustu aldar og byrjun þessarar, var rennsli yfirleitt minna en á tímabilinu frá því að mælingar hófust.

Auk hitastigs og úrkomu (jafna (1)) var bætt við línulegum tengslum við rennsli næsta árs á undan, Q_{-1} (t.d. er notað rennslið árið 1980 við útreikning á rennsli ársins 1981):

$$Q = A + B \times H + C \times \dot{U} + D \times Q_{-1} \quad (2)$$

Þetta er gert þar sem vitað er að fylgni (eða minni) er í rennsli milli ára.

Við útreikninga Laufeyjar var miðað við almanaksár, þ.e. meðalrennsli hvers almanaksárs var reiknað. Þar sem rekstur raforkukerfisins og miðlana er miðaður við vatnsár þurfti að endurtaka reikninga vegna þessa verkefnis. Niðurstöður Laufeyjar voru að best væri að líkja eftir rennsli Ölfusár. Ákveðið var að nota einungis Ölfusá við frekari reikninga og var gerð fylgnigreining fyrir hana miðað við vatnsár. Niðurstöður fylgnigreiningarinnar eru:

$$Q = 111,7 + 15,22 \times H + 0,1676 \times \dot{U} + 0,2389 \times Q_{-1} \quad (3)$$

(Fylgnistuðull er 0,86)

þar sem H er meðalhitastig hvers vatnsárs í Stykkishólmi í $^{\circ}C$,
 \dot{U} er heildarúrcoma hvers árs í Stykkishólmi í mm ,
 Q_{-1} er rennsli vatnsársins á undan í m^3/s .

Jafnan sýnir að góð fylgni er milli veðurfars í Stykkishólmi og rennslis í Ölfusá. Hægt hefði verið að skýra lítið eitt stærri hluta breytileikans með því að nota hitamælingar frá Akureyri í stað Stykkishólms, en þá hefði einungis verið hægt að reikna rennslið frá og með 1882.

Í töflu 1 eru sýnd meðaltöl hita og úrkomu í Stykkishólmi auk mælds og reiknaðs rennslis í Ölfusá fyrir ýmis tímabil.

TAFLA 1. Hiti og úrkoma í Stykkishólmi ásamt mældu og reiknuðu rennsli í Ölfusá.

Tímabil		Veðurfar í Stykkishólmi		Rennsli í Ölfusá	
Vatnsár		Hiti °C	Úrkoma mm	Mælt (m ³ /s)	Reiknað
1873	Meðaltal	3,5	698		370
til					
1982	Staðalfrávik	0,9	165		39
1877	Meðaltal	3,0	635		347
til					
1909	Staðalfrávik	0,9	128		31
1921	Meðaltal	4,1	775		399
til					
1953	Staðalfrávik	0,7	180		38
1950	Meðaltal	3,6	693	372	372
til					
1982	Staðalfrávik	0,7	170	42	35

3 ÁRSGETA VIRKJANAKERFISINS FRÁ 1873 TIL 1982

Til að meta hversu mikilli raforkunotkun hefði verið hægt að fullnægja ár hvert frá 1873 fram til 1982 með núverandi virkjanakerfi miðað við reiknað rennsli í Ölfusá, koma einkum tvær aðferðir til greina. Annars vegar rekstrareftirlíking, þ.e.a.s. að meta hversu stórum markaði fmynduð virkjun og lón í Ölfusá gæti annað miðað við reiknað rennsli. Hins vegar fylgnigreining, þ.e. tengja má gefna ársgetu virkjanakerfisins fyrir ákveðið tímabil við reiknað rennsli.

Fylgnigreiningin byggir á útreikningum Verkfræðistofunnar Strengs á ársgetu núverandi virkjanakerfis fyrir tímabilið 1950-1982 (vatnsár). Gerð var fylgnigreining milli þessara gilda og reiknaðs rennslis í Ölfusá (sjá jöfnu 3 í kafla 2). Niðurstöður fylgnigreiningarinnar eru:

$$\text{AGV} = 2504 + 2,80 \times \text{OLF} + 3,19 \times \text{OLF}_{-1} \quad (4)$$

(Fylgnistuðull er 0,83)
ÁG er ársgeta virkjanakerfisins í GWh/a
OLF er reiknað rennsli í Ölfusá (m^3/s) skv. jöfnu 3.

Í töflu 2 er reiknuð ársgeta borin saman við áður nefnd gögn frá Verkfræðistofunni Streng. Eins og þar má sjá er verulegur munur á gildunum einstök ár og fyrir koma löng tímabil þar sem ýmist er um ofmat eða vanmat á ársgetu virkjanakerfisins að ræða. T.d. ofmetur líkanið hana samtals um 312 GWh vatnsárin 1965-67 og um 78 GWh vatnsárið 1950, en einmitt þessi ár ráða mestu við mat á orkugetu miðað við rennsli árunna 1950-1982. Ástæða er til að benda að um fá mæligildi (33) er að ræða og því á mörkum þess að markækt sé að nota líkanið aftur til 1873 til að líkja eftir þessu flókna fyrirbrigði. Þá er og ástæða til að ítreka það sem kom fram í kafla 2 að samkvæmt eðli fylgnigreiningar er erfitt að líkja eftir há- og lággildum.

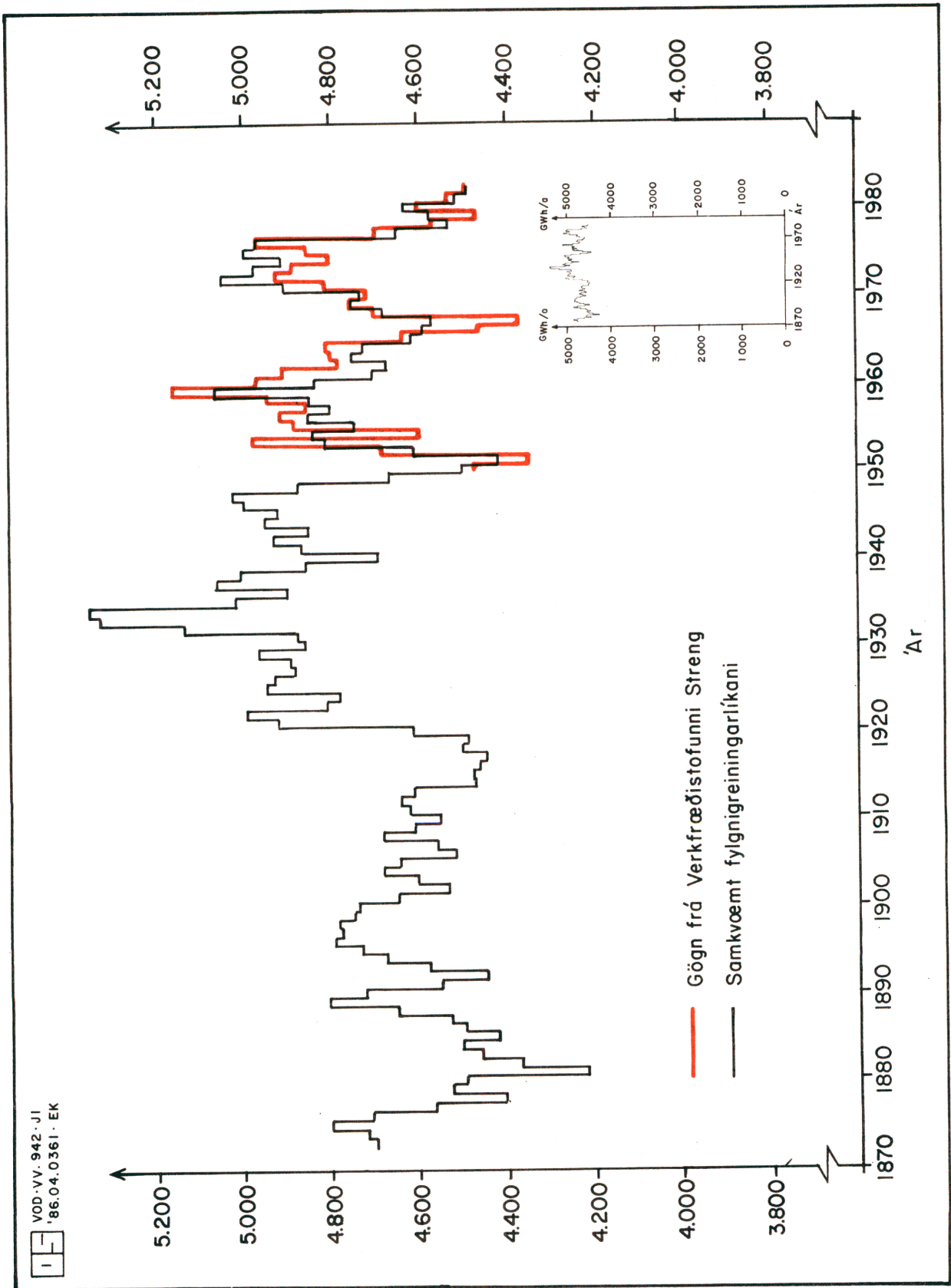
Á mynd 1 er útreiknuð ársgeta fyrir tímabilið 1873 til 1982 sýnd. Skipta má tímabilinu í þrennt. Fram til 1920 reiknast ársgetan yfirleitt lægri en eftir það. Á þriðja, fjórða og fyrri hluta fimmta áratugarins er ársgetan að jafnaði mjög mikil og á tímabilinu frá 1950, sem yfirleitt er notað við útreikninga á orkugetu, er hún þarna á milli. Þetta kemur enn betur fram í töflu 3 þar sem sýnd eru meðaltöl, staðalfrávik og hæstu og lögstu gildi á útreiknaðri ársgetu virkjanakerfisins fyrir tímabilið 1873-1982 (vatnsár). Ennfremur eru í töflunni sömu stærðir fyrir tímabilið 1950-1982 og þau þrjátíu og þriggja ára tímabil raðarinnar sem gefa lögstu (1877-1909) og hæstu (1921-1953) meðalársgetu fyrir virkjanakerfið. Við samanburð á meðaltali þessara tímabila kemur í ljós að þau eru frábrugðin með yfir 95% líkum. Á mynd 2 eru stöplarit og tíðniföll normaldreifðingar fyrir þessi tímabil.

Einnig var reynt að meta ársgetu virkjanakerfisins með rekstrareftirlíkingu fyrir tímabilið 1873 til 1982. Miðað var við virkjun í Ölfusá t.d. við Selfoss með orkuinnihald í fullri miðlun 20% af orkugetu sem er svipuð og fyrir núverandi virkjunarkerfi Landsvirkjunar í dag. Þá er gert ráð fyrir að 30% af rennsli Ölfusár renni í miðlunina en 70% komi fram milli miðlunar og virkjunar. Fallhæð virkjunar er ákveðin þannig að orkugeta hennar vatnsárin 1950 til 1982 verði hin sama og allra virkjana í landinu fyrir sama tímabil. Reyndist fallhæðin þurfa að vera u.þ.b. 200 metrar, en vitaskuld eru ekki landfræðilegar aðstæður fyrir slíka virkjun við Selfoss. Rennsli til virkjunarinnar var ákveðið skv. jöfnu 3 í kafla 2. Ársrennsli var dreift á einstök tveggja vikna tímabil á sama hátt og rennsli þjórsár við Urriðafoss dreifðist í ári með hlutfallslega sambærilegt ársrennsli (t.d. er dreifing innan þess vatnsárs sem hefur minnst rennsli í þjórsá á tímabilinu 1950 til 1982 látin ráða dreifingu innan þeirra þriggja vatnsára sem hafa minnst rennsli í reiknuðu röðinni fyrir Ölfusá.

TAFLA 2. Samanburður á útreiknaðri ársgetu skv. jöfnu 4 og útreikningum Verkfræðistofunnar Strengs á ársgetu virkjanakerfisins fyrir tímabilið 1950 til 1982.

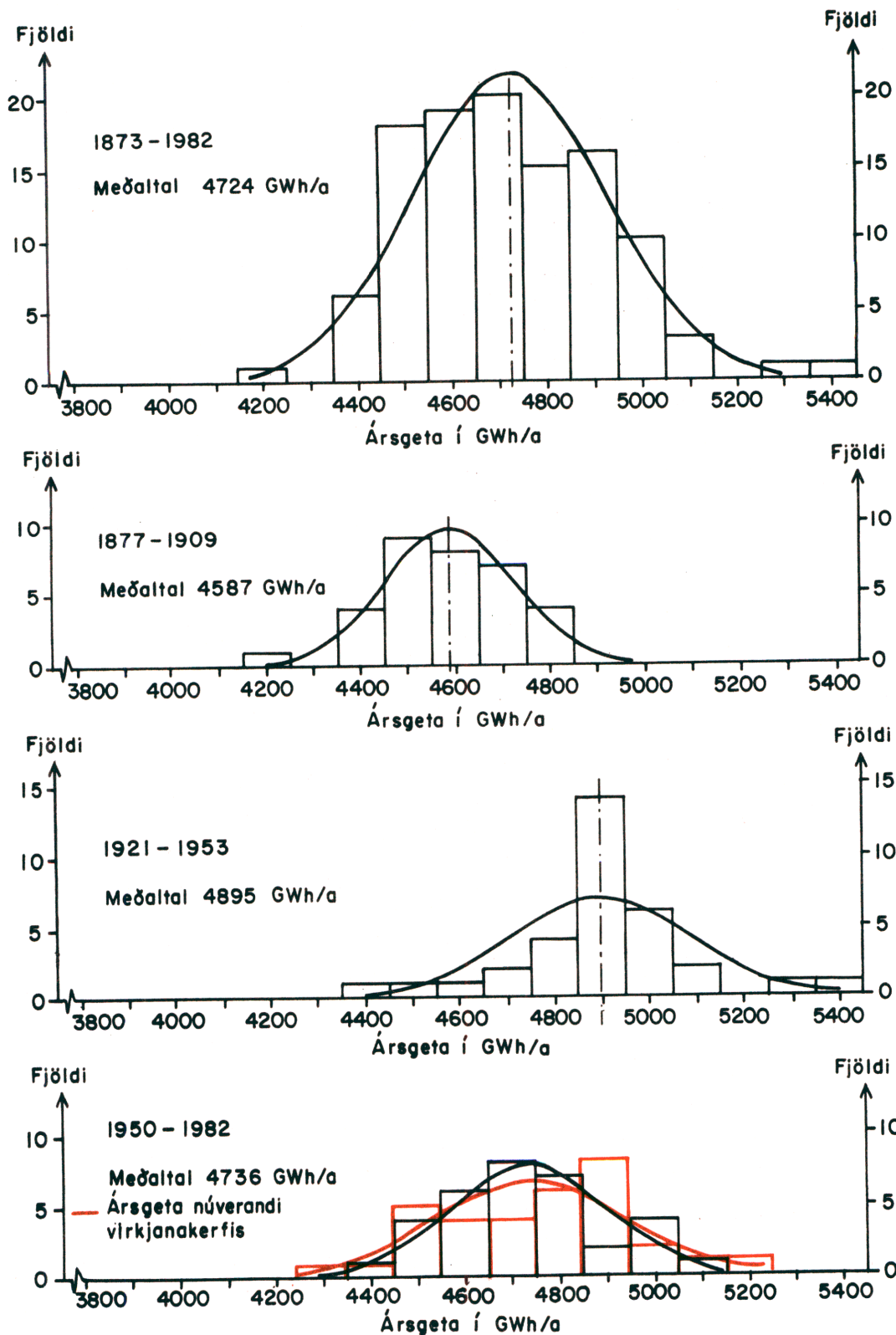
Ársgeta virkjanakerfisins (GWh/a) 1950-1982.			
	Útreikningar	Reiknað	
	Strengs	skv.	jöfnu 4
	(1)	(2)	(1)-(2)

1950	4472	4550	-78
1951	4348	4421	-73
1952	4678	4610	+68
1953	5076	4811	+265
1954	4597	4836	-239
1955	4877	4740	+137
1956	4913	4847	+66
1957	4853	4799	+54
1958	4940	4845	+95
1959	5159	5061	+98
1960	4961	4836	+125
1961	4899	4701	+198
1962	4774	4670	+104
1963	4794	4749	+45
1964	4801	4726	+75
1965	4632	4616	+16
1966	4462	4590	-128
1967	4372	4571	-199
1968	4698	4682	+16
1969	4756	4750	+6
1970	4709	4731	-22
1971	4809	4901	-92
1972	4916	5048	-132
1973	4884	4973	-89
1974	4798	4909	-111
1975	4856	4993	-137
1976	4962	4969	-7
1977	4686	4652	+34
1978	4563	4532	+31
1979	4464	4576	-112
1980	4596	4631	-35
1981	4534	4515	+19
1982	4491	4489	+2



MYND 1 Ársgeta virkjanakerfisins 1873-1982 fengin með línulegri fylgnigreiningu

VOD-VV-942-JI
'86.04.0289-EK



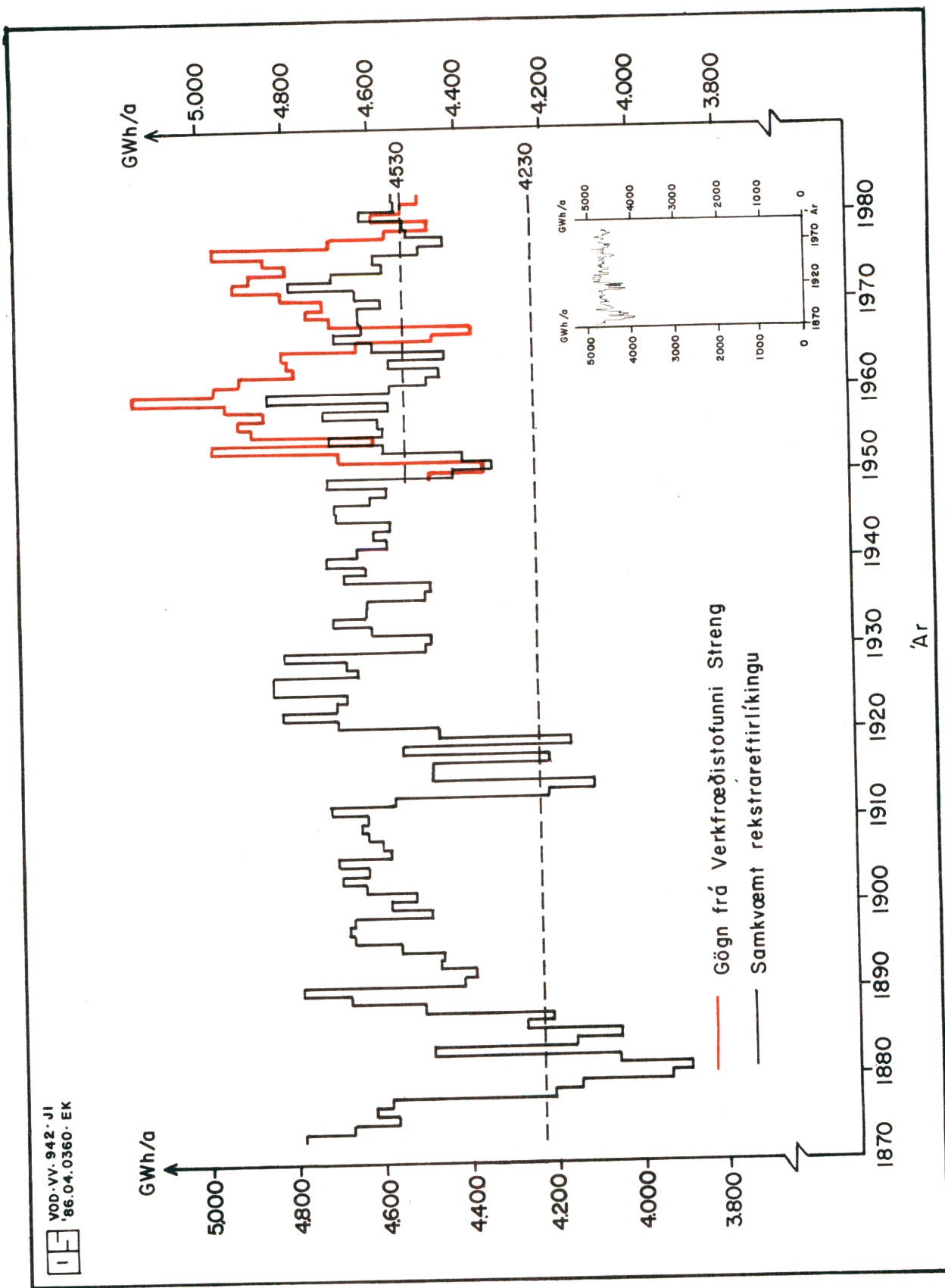
MYND 2 Stöplarit og tíðniföll ársgetu virkjanakerfisins samkvæmt fylgnigreiningu fyrir tímabilin 1973-1982, 1877-1909, 1921-1953 og 1950-1982

TAFLA 3 Meðaltöl, staðalfrávik og mesta og minnsta ársgeta virkjanakerfisins fyrir mismunandi tímabil. (Allar tölur í GWh/a).

Tímabil		Líkan 1	Röð frá Streng
	Meðaltal	4724	
1873	Staðalfrávik	204	
til	Lægsta	4216	
1982	Hæsta	5352	
	Meðaltal	4587	
Lægsta 33	Staðalfrávik	137	
ára tímabil	Lægsta	4216	
1877-1909	Hæsta	4803	
	Meðaltal	4895	
Hæsta 33	Staðalfrávik	189	
ára tímabil	Lægsta	4421	
1921-1953	Hæsta	5352	
	Meðaltal	4736	4737
1950	Staðalfrávik	170	202
til	Lægsta	4421	4175
1982	Hæsta	5062	5159

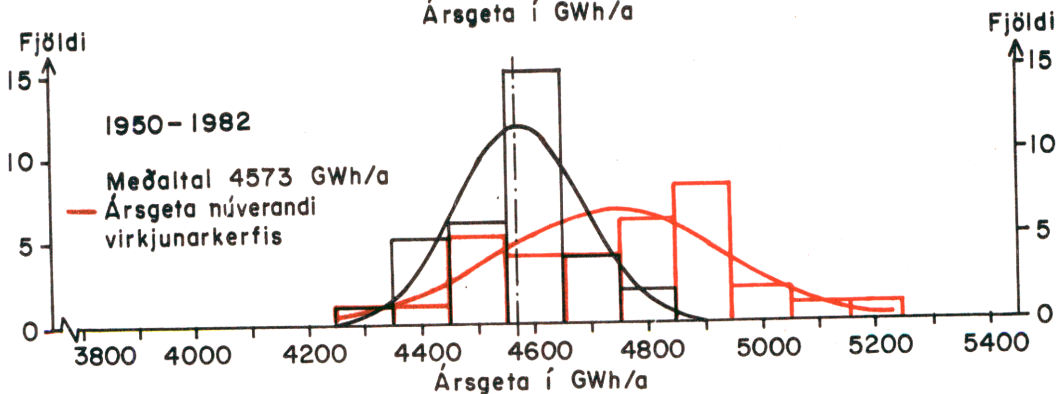
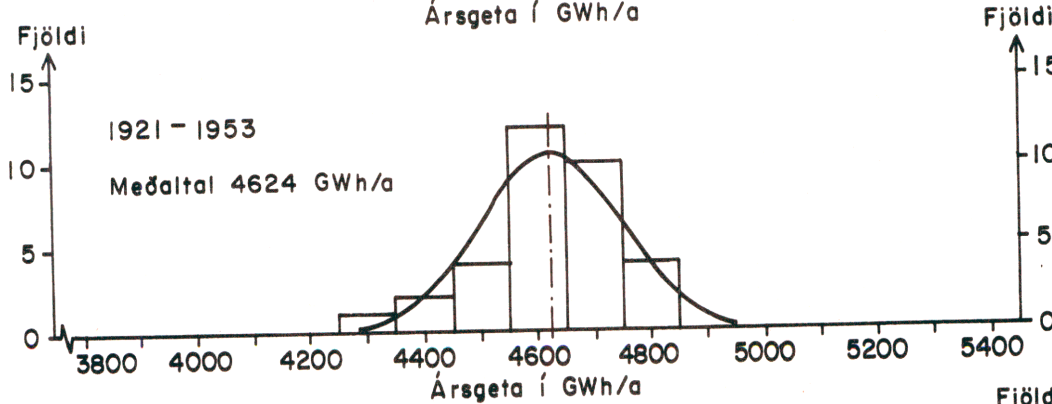
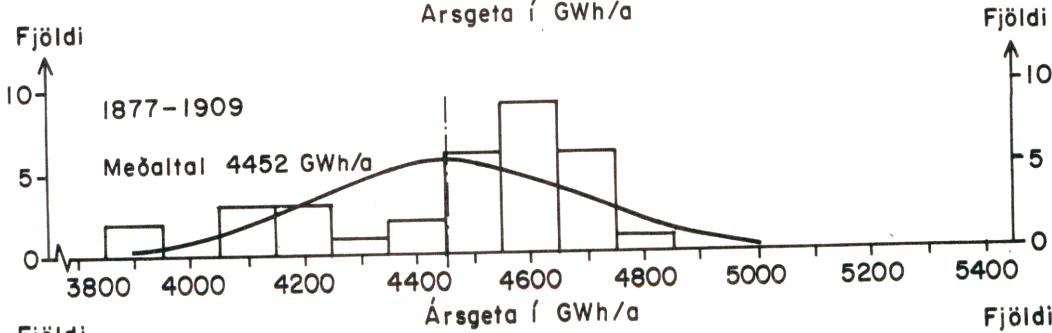
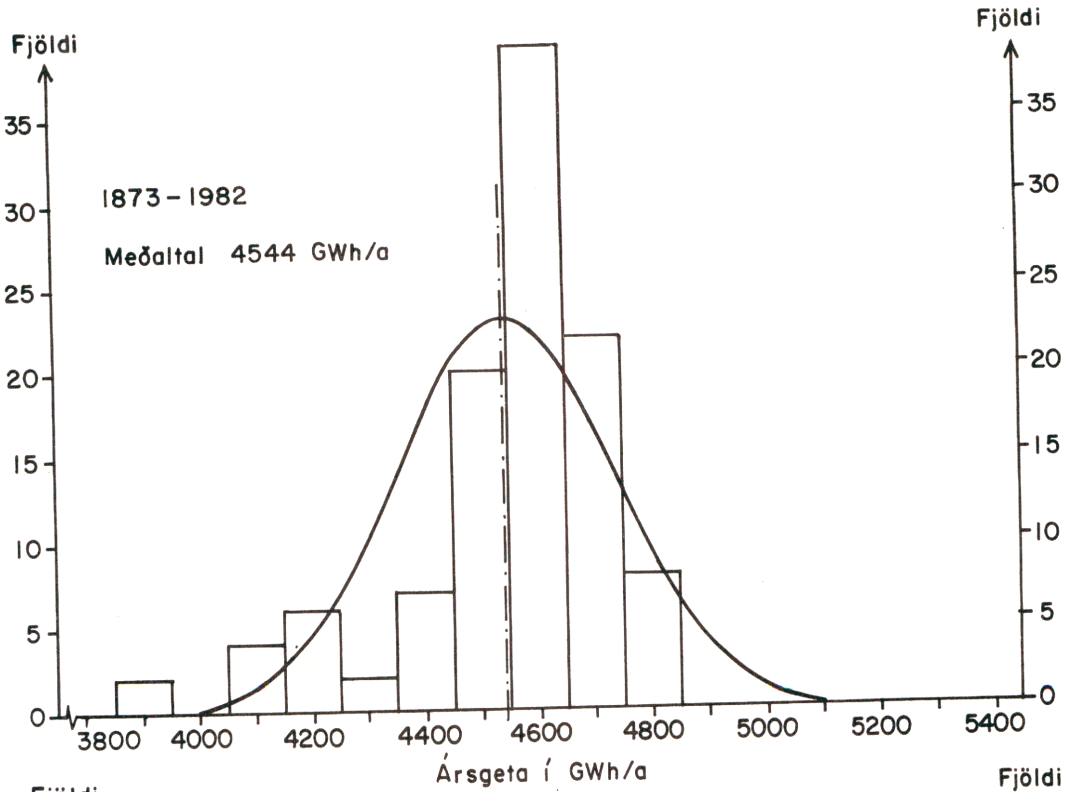
Gerð var rekstrareftirlíking fyrir árin 1873 til 1982 með Selfossvirkjun sem einu virkjun landsins. Niðurstaðan fyrir einstök ár er sýnd á mynd 3. Niðurstöður áráanna 1950 til 1982 voru bornar saman við ársgetu núverandi landskerfis sbr. fremsta dálk í töflu 2. Fundinn var fylgnistuðull milli þessara tveggja niðurstaðna og reyndist hann vera aðeins 0,36 sem er ekki marktæk fylgni. Meðalársgeta Selfossvirkjunar tímabilið 1950 til 1982 reyndist vera 4573 GWh/a eða 164 GWh/a lægri en meðalársgeta núverandi virkjanakerfis fyrir sama tímabil, þrátt fyrir að orkugeta virkjunarinnar sé jöfn orkugetu virkjanakerfisins fyrir þetta tímabil. Minni dreifing er í ársgetu Selfossvirkjunar einkum nóst hágildin illa. Á mynd 4 eru stöplarit ásamt tíðniföllum normaldreifingar fyrir allt tímabilið og tímabilin 1877 til 1909, 1921 til 1953 og loks tímabilið 1950 til 1982.

Dreifing ársgetunnar samkvæmt rekstrareftirlíkingunni er verulega frábrugðin dreifingu ársgetu núverandi virkjanakerfis. Ástæða þess er að rennsliseiginleikar Ölfusár eru ólíkir rennsliseiginleikum á Þjórsár-Tungnaársvæðinu, en þar eru stærstu virkjanirnar.



MYND 3 Ársgeta virkjanakerfisins 1873-1982 fengin með rekstrareftirlíkingu

VOD-VV-942-JI
'86.04.0290-EK



MYND 4 Stöplarit og tíðniföll ársgetu virkjanakerfisins samkvæmt rekstrareftirlíkingu fyrir tímabilin 1873-1982, 1877-1909, 1921-1953 og 1950-1982

Þrátt fyrir lélega fylgni er athyglisvert hve ársgetan í köldu árunum um 1880 og 1915 reiknast lægri en í fylgnigreiningarlíkaninu, en því tekst illa að líkja eftir lægstu gildum eins og áður var vikið að. Inn á mynd 3 eru dregnar tvær línur sem annars vegar sýna orkugetu Selfossvirkjunar ef einungis er tekið tillit til vatnsáranna 1950 til 1982, en þá reyndist hún vera 4530 GWh/a, og hins vegar ef reiknað er með öllu tímabilinu 1873 til 1982, en þá reyndist hún vera 4230 GWh/a. Mismunurinn er 300 GWh/a. Köldu árin um 1880 og á öðrum áratug þessarar aldar ráða mestu við ákvörðun orkugetu alls tímabilsins, en árin eftir 1920 hafa lítil áhrif á niðurstöðuna. Orkugetan fyrir tímabilið 1877 til 1909 reiknast 4080 GWh/a eða um 450 GWh/a lægri en fyrir tímabilið eftir 1950.

4. NIÐURSTÖÐUR

Helstu niðurstöður þessara reikninga eru:

- Áætla má ársmeðalrennsli í Ölfusá frá 1873 miðað við mælingar á hita og úrkomu í Stykkishólmi með allgóðum árangri .
- Marktæk fylgni er milli reiknaðs rennslis í Ölfusá og ársgetu virkjanakerfisins.
- Ársgeta virkjanakerfisins, samkvæmt fylgnigreiningu við reiknað rennsli í Ölfusá, reiknast að meðaltali um 150 GWh/a minni í lok síðustu aldar en hún er á tímabilinu frá 1950, og hún reiknast um 160 GWh/a meiri að meðaltali á tímabilinu 1920-1949 en eftir 1950.
- Ekki fékkst marktækt samband með rekstrareftirlíkingu milli ársgetu ímyndaðrar virkjunar í Ölfusá og virkjanakerfisins sem nú er í rekstri. Virkjunin gaf meiri frávik í köldum árum en fylgnigreiningin.
- Rekstrareftirlíking af hinnu ímyndaðu virkjun í Ölfusá fyrir vatnsárin 1873 til 1982 gaf 300 GWh/a lægri orkugetu fyrir allt tímabilið en fékkst fyrir vatnsárin 1950 til 1982. Lægsta 33ja ára tímabilið gaf 450 GWh/a lægri orkugetu en sögulega röðin.

Þær niðurstöður sem hér eru settar fram með verður að nota með fyllstu varúð. Ljóst er að einföld líkön eins og hér eru sett fram til að reikna ársgetu virkjanakerfisins geta aðeins gefið grófa nálgun. Þau byggja á mjög fáum raungildum. Með líkönum sem byggja á fylgnigreiningu tekst illa að líkja eftir mikilli og lítilli getu virkjanakerfisins þ.e. þegar veðurfarssveiflur verða mestar, en tilgangur verkefnisins er einmitt sá að kanna hvaða áhrif þær hafa á orkugetu kerfisins. Rétt er að benda á að gert er ráð fyrir að hiti og úrkoma séu mæld með sömu nákvæmni allt tímabilið frá 1873. Þá er sennilega ekki tekið nægilegt tillit til miðlunar jöklanna, þ.e. að þeir safna vatni og ganga fram í köldum árum en hoga og bráðna í heitum. Útreikningarnir sýna þó að orkugeta virkjanakerfisins hefði verið umtalsvert minni á kuldatímabilinu í lok síðustu aldar og upphafi þessarar en á tímabilinu eftir 1950 sem notað hefur verið við útreikninga á orkugetu.