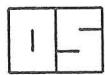


Rennsliseftirlíkingar á Hraunavirkjun
44 ára raðir

Erlingur E. Jónasson

Greinargerð EEJ-96/01 Desember 1996



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Rennsliseftirlíkingar á Hraunavirkjun
44 ára raðir**

Erlingur E. Jónasson

Greinargerð EEJ-96/01 Desember 1996

Rekstrareftirlíkingar á Hraunavirkjun - 44 ára raðir

1. Inngangur

Nýlega er lokið endurskoðun á vatnafræðilegu líkani af rennsli Jökulsár í Fljótsdal, Kelduár og Fellsár. Á grundvelli líkansins voru gerðar 44-ára rennslisraðir til rekstrareftirlíkinga á Fljótsdalsvirkjun. Þessar sömu raðir henta einnig til rekstrareftirlíkinga á Hraunavirkjun.

Til að niðurstöður rekstrareftirlíkingar á Fljótsdals- og Hraunavirkjun verði samanburðarhæfar er einungis gerð athugun á nýtingu þess vatns sem fellur til aðalvatnsvegar Hraunavirkjunar. Athugun á nýtingu vatns úr Suðurfjarðar- og Líkárvatnsveitum til Hraunavirkjunar bíður þar til rennslisraðir liggja fyrir.

Mannvirki eru öll þau sömu og lýst er fyrir Hraunavirkjun efri í skýrslu sem kom út fyrr á árinu [Erlingur E. Jónasson og Árni Snorrason, 1996].

Verkfræðistofunni Landsteinum ehf. var falið að meta orkugetu Hraunavirkjunar á sambærilegan hátt og gert var vegna Fljótsdalsvirkjunar.

2. Vatnafræðilegar forsendur

Enduskoðun á vatnafræðilegu líkani af rennsli Jökulsár í Fljótsdal, Kelduár og Fellsár er nýlega lokið [Verkfræðistofan Vatnaskil, 1996]. Við endurskoðunina voru nýttar nýjar upplýsingar frá vatnshæðarmælum á Hraunum frá árunum 1990-1994 jafnframt þeim rennslisröðum sem liggja til grundvallar líkaninu, en þær eru: Jökulsá í Fljótsdal við Hól; vhm 109, Jökulsá í Fljótsdal við Eyjabakka; vhm 234, Kelduá við Kiðafellstungu; vhm 205, og Fellsá við Sturluflöt; vhm 206. Einnig voru notuð veðurgögn af Fljótsdalsheiði; Stórlækur, og Hraunum; Sauðárhnjúkur, og afkomumælingar af Eyjabakka- og Prándarjökli. Í framhaldi af endurskoðuninni samþykkti rennslisgagnagnefnd þetta vatnafarslíkan fyrir Fljótsdalsvirkjun í heild sinni þannig að notkun tímaraða byggðra á því er heimil án formlegs samþykkis hennar. Þær raðir sem gerðar voru til rekstrareftirlíkinga á Fljótsdalsvirkjun er því hægt að nota til rekstrareftirlíkinga á Hraunavirkjun.

Raðirnar sem hér um ræðir lýsa rennsli til Eyjabakkalóns, Kelduár, Innri-Sauðár, Ytri-Sauðár, Fellsár og Sultarranaár í safnpunktum sem skilgreindir eru vegna hraunaveitu Fljótsdalsvirkjunar. Fyrir Hraunavirkjun eru safnpunktarnir staðsettir á nánast sama stað. Einungis þarf því að skala þessar raðir lítillega með hlutfalli vatnasviðanna.

Líkan Vatnaskila nær ekki til Vatnadældar eða Hornbrynu. Reiknað er með að nýta afrennsli þessara svæða fyrir Hraunavirkjun. Reyndar mætti nýta afrennsli Vatnadældar fyrir Fljótsdalsvirkjun. Á grundvelli tímaraða til Hraunavirkjunar [Erlingur E. Jónasson og Árni Snorrason, 1996] er hægt að segja með nokkurri vissu um eiginleika afrennslis þessara tveggja svæða. Fyrir Vatnadæld var röðin fyrir Ytri-Sauðá notuð, og fyrir Hornbrynu röðin fyrir Sultarraná. Röðin fyrir Sauðá var skoluð til eftir hlutfalli vatnasviðanna. Röðin fyrir Sultarraná var hins

vegar sköluð til eftir afrennsli raða fyrir Hraunavirkjun vatnsárin 90-94, og eftir hlutfalli vatna-sviðanna.

Tafla 1 sýnir rennsli einstakra veitna, annars vegar það vatn sem ná má til Eyjabakkamiðlunar í flokknum *Miðlað rennsli* og hins vegar það sem rennur ómiðlað til virkjunar.

Taflan skýrir sig að mestu sjálf. Dálkurinn með heitið MaQ sýnir náttúrulegt ársmeðalrennsli vatnsárin 1950-1994. Dálkurinn flutningsgeta vísar til flutningsgetu lækjarintaks. Dálkurinn rennsli í göng sýnir hversu mikil rennsli næst í göng um lækjarintak. Summa hans fyrir miðlaða rennslið er heildarmagn vatns sem inntök Hraunaveituganga geta veitt til Eyjabakkamiðlunar. Eyjabakkamiðlun er sameiginlegt lónrými Eyjabakka- og Kelduármíðlana. Heildarsumma dálksins rennsli í göng er hins vegar mesta mögulega rennsli til virkjunarinnar. Rekstrareftirlíkingar skera úr um nýtingu vatnsins sem getur runnið til virkjunarinnar.

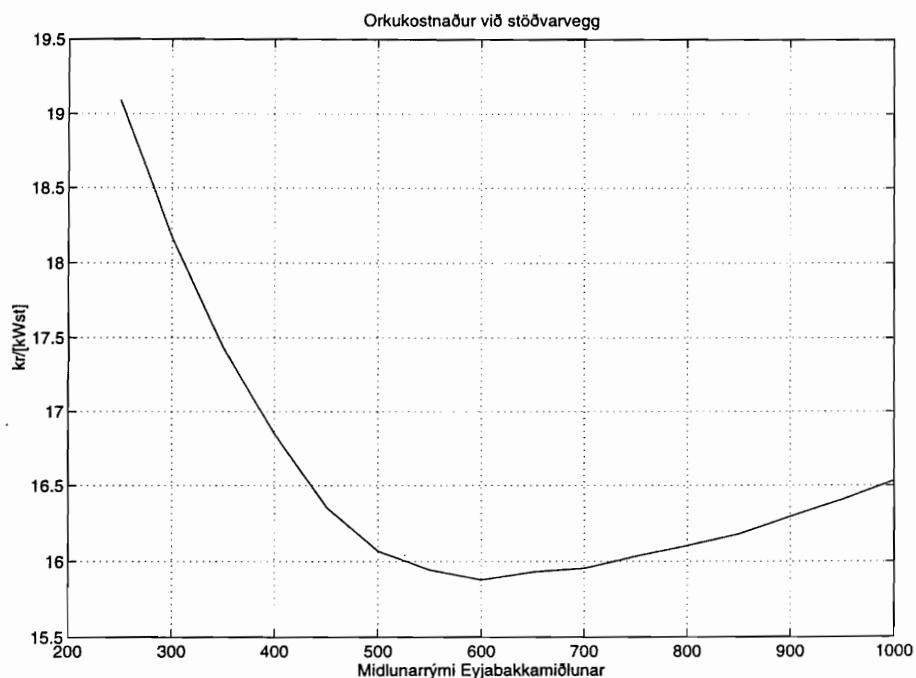
Tafla 1

Hraunavirkjun meiri, Rennsli einstakra veitna							
Nafn Veitu	Vatna svið [km ²]	Afrennsli [l/s/km ²]	Miðlun [Gl]	MaQ [m ³ /s]	Flutningsgeta [m ³ /s]	Rennsli í göng [m ³ /s]	Athuga-semdir
Miðlað rennsli							Í Eyjabakkamiðlun
Hafursá	12.4	40	0.0	0.50			
Jökulsá	288	78	650	22.4			
Kelduá	61.5	60	0.0	3.68			
Vatnadæld	13.6	74	0.7	1.00			
Grjótá	36.2	58	1.0	2.10	10.0	1.95	Inntak
I. Sauðárlón	9.3	59	1.0	0.55		0.55	
Innri-Sauðá	19.3	59	0.0	1.14	10.0	1.14	V. Inntak
Innri-Sauðá	2.98	59	0.0	0.18	2.0	0.18	A. Inntak
Sauðárvatn	25.5	74	25.3	1.89		1.89	
Sauðá	65.0	74	0.0	4.80	25.3	4.80	Inntak
Fellsárlón	7.48	61	0.5	0.46		0.46	
Fellsá	12.5	61	0.0	0.77	4.5	0.73	Inntak
Sultarranaá	5.75	69	0.0	0.40	1.0	0.28	V. Inntak
Sultarranaá	21.2	69	0.0	1.68	8.0	1.50	A. Inntak
Samtals				38.7		10.6	
Ómiðlað rennsli							Til virkjunar
Hornbrynja	7.33	69	0.0	0.51	2.5	0.46	Vatnasvið Sult.
Hornbrynja	1.98	69	0.0	0.14	0.5	0.11	Vatnasvið Sult.
Hornbrynja	12.2	52	0.0	0.64	4.0	0.61	Afr. Hornb.
Hornbrynja	4.72	52	0.0	0.25	1.5	0.24	
Hornbrynja	1.87	52	0.0	0.10	0.5	0.09	
Hornbrynja	4.36	52	0.0	0.23	1.5	0.22	
Hornbrynja	10.5	52	0.0	0.55	3.0	0.52	
Samtals				2.42		2.25	
Alls	623.7		678.5	41.1		40.4	Eyjabakkamiðlun

3. Orkugeta

Landsteinar ehf. mátu orkugetu Hraunavirkjunar. Samband orkugetu og afsl var ákveðið og einnig samband orkugetu og lónrýmis. Niðurstöður þeirra eru sýndar í heild sinni í viðauka A ásamt forsendum. Í stuttu máli kom í ljós að ekki er þörf á meira tveggja vikna meðalafli en 210 MW. Það samsvarar 240 MW uppsettum afli, ef reiknað er með 7% reiðuafli.

Samband lónrýmis og orkugetu var notað til að kostnaðarrekna Hraunavirkjun við mismunandi vatnsborðshæð Eyjabakkastíflu við 240 MW uppsettum afli. Athygli er vakin á því að kostnaður við Kelduárstíflu er innfalin í kostnaði við Eyjabakkastíflu, enda renna þessar stíflur nánast saman í eina við vatnsborðshæð yfir 670 m. Mynd 1 sýnir heildarkostnað á orkueiningu.



Mynd 1

Nú undafarið er farið að setja langtíma jaðarkostnað sem næst lágmarks heildarkostnaði [Kristján Már Sigurjónsson, VST, munnl. heimild]. Það þýdir að skv. mynd 1 er hagkvæmasta miðlunarrýmið u.þ.b. 650 Gl. Það samsvarar stífluhæð 666,7 m y.s. Sú hæð var notuð til að gera sundurliðaða kostnaðaráætlun fyrir Hraunavirkjun.

4. Kostnaður

Forsendur kostnaðarrekninga eru alveg þær sömu og lýst er í áðurnefndri skýrslu um Hraunavirkjun. Eina frávikið er að í stað 15% reiðuafli er nú reiknað með 7% reiðuafli og er það er til samræmis við Fljótsdalsvirkjun.

Kostnaðaráætlunin er sýnd í töflu 2.

Tafla 2

Sundurliðuð kostnaðaráætlun								
Mannvirki	Q [m ³ /s]	L [km]	H [m]	D [m]	V [Ml]	S [o/oo]	verkk [Mkr]	ATH
Aðalvatnsvegur við Eyjabakka								
Jarðstífla (999)		6.37	670.7		2470.6		2082.7	
Botnrás (999)	467		29.4				144.4	
Grjótvarið yf. (999)	81	0.02	666.7				3.8	
Skurður (488)	37.7	0.6	648		34.4	0.42	26.0	
Sprengd göng	37.7	2.5	648.0	4.9	49.0	1.78	345.6	
Skurður (487)	37.7	1.8	643		361.2	0.42	213.7	
Stöðvarinntak	46		24.7				149.5	
Hafursa							64.2	
Samtals							3030.0	
Kelduá-Sultarrani								
Vélboruð göng	46.0	13.3	642.0	5.0	259.4	1.34	1735.3	
R.C.C. (565)		0.29	675.0		5.0		32.1	
Botnrás (565)	26		11.0				6.9	
Lækjarinntak	10.0	0.033		2.01			19.7	
R.C.C. (566)		0.53	756.0		13.4		81.5	
Botnrás (566)	19		12.0				6.8	
Lækjarinntak	10.0	0.059		2.01			23.5	
Lækjarinntak	2.1	0.049		1.27			9.4	
R.C.C. (423)		0.92	797.0		17.4		111.6	
Botnrás (423)	34		13.5				9.9	
Skurður (301)	1.3	1.4	782		118.4	0.35	55.8	
Hjálparböng		0.3		5.48	6.0		32.6	
Lækjarinntak	25.0	0.000		3.18			44.4	
R.C.C. (567)		0.16	746.5		1.6		11.2	
Lækjarinntak	4.5	0.030		1.35			10.2	
Lækjarinntak	1.0	0.065		1.27			10.0	
Lækjarinntak	8.0	0.050		1.80			18.4	
Hjálparböng		0.3		5.48	6.0		32.6	
Samtals							2251.8	
Sultarrani-Gilsá								
Vélboruð göng	46.0	9.0	620.9	5.0	175.5	1.34	1138.0	
Hjálparböng		0.4		5.98	11.2		57.3	
Lækjarinntak	2.5	0.051		1.27			9.9	
Lækjarinntak	0.5	0.068		1.27			10.0	
Lækjarinntak	4.0	0.053		1.27			11.6	
Lækjarinntak	1.5	0.056		1.27			9.5	
Lækjarinntak	0.5	0.085		1.27			11.6	
Lækjarinntak	1.5	0.071		1.27			10.9	
Lækjarinntak	3.0	0.000		1.27			5.7	
Pípuskurður		0.3	2.0				40.7	
Samtals							1305.3	
Gilsá-Suðurdalur								
Vélboruð göng	46.0	4.0	612.6	5.0	78.0	1.34	514.3	
Fallgöng	46.0	0.472	621.7	2.89	3.1	10.86	389.7	
Vélboruð göng	46.0	4.0	35.9	5.0	78.0	1.34	514.3	

Sundurliðuð kostnaðaráætlun							
Mannvirki	Q [m ³ /s]	L [km]	H [m]	D [m]	V [Ml]	S [o/oo]	verkk [Mkr]
Skurður (302)	46.0	0.6	36		397.2	1.10	123.6
Skurður (303)	46.0	2.4	36		846.9	0.10	227.5
Samtals							1769.5
Stöðvarmannvirki							
Aðgöng		1.9					496.0
Hjálpargöng		0.3		5.48	6.0		32.6
Stöðvarhús	46.0		596.0				855.7
Vélar og rafsb.	46.0		596.0				2882.4
Þrýstijöfnun							145.6
Samtals							4412.3
Samtals Aðalv.v.							12768.9
Jaðarveitir							
Vatnадæld							
Pípuskurður	0.3	1.5					30.5
Jarðstífla (445)		0.67	811.5		32.2		60.6
Botnrás (445)	13		10.0				11.6
Grjótvarið yf. (445)	43	0.01	808.0				1.6
Skurður (294)	4.5	0.7	807		59.7	0.45	40.3
Sprengd göng	4.5	0.5	806.5	3.0	3.5	0.38	39.0
Skurður (293)	4.5	0.5	806		36.7	0.45	26.2
Samtals							209.8
Annað							
Stöðvarbyggð							104.0
Vegir v/ó		40 / 54					362.0
Vinnub. og tygjun							804.7
Samtals							1270.7
Kostnaður							
Verkk. 12.92							14249.4
Stofnk. 12.95							26221.7
kr/kWh							15.9
Afl og orka							
Heildar afl							239.9
Afl 2 v. meðal							208.2
Afl vegna dagss.							16.0
Reiðuafl							15.7
Orkugeta							1646.0

Í töflunni sést að heildarkostnaður er áætlaður rúmlega 26 milljarðar króna á verðlagi desember 1995. Orkugeta virkjunarinnar er riflega 1640 GWh eða tæplega 16 kr/kWh. Það verður að teljast hagkvæm orka. Ekki liggur fyrir kostnaðaráætlun fyrir Fljótdalsvirkjun með Hraunaveitu né orkugetuútreikningar, en allar líkur benda til að hagkvæmni þeirrar tilhögunar sé svipuð og Hraunavirkjunar. Við samanburð þarf að hafa í huga að jaðarkostnaður við að bæta Suðurfjarðar- og Líkárvatnsveitu í Fljótdalsvirkjun er mun hærri en hjá Hraunavirkjun. Stofnkostnaður við víkkun vatnsvega vegna þeirra er ekki innifalinn í kostnaðaráætluninni hér til að auðvelda samanburð við Fljótdalsvirkjun.

5. Niðurstöður

Rekstrareftirlíkingar á Hraunavirkjun með 44-ára rennslisröðum sýna glögglega að Hraunavirkjun er mjög hagkvæmur virkjunarkostur. Þar sem bygging Fljótdalsvirkjunar útilokar byggingu Hraunavirkjunar og öfugt, er nauðsynlegt að gera hagkvæmiathugun fyrir þær báðar

þar sem forsendur eru hinar sömu. Þannig er best tryggt að virkjun Jökulsár í Fljótsdal og nærliggjandi fallvatna skili þjóðinni sem mestum arði.

Nauðsynlegt er að skoða jaðarkostnað við að bæta vatni frá Suðurfjörðum og Líkarárvatns-svæðinu svo að allir kostir á nýtingu vatns af Hraunum séu skoðaðir í hagkvæmniathuguninni. Til þess þarf að gera vatnafarslíkön af þeim svæðum. Slíkt verk ætti ekki að vera kostnðaðar-samt þar sem hægt er að miðla miklu frá vatnafarslíkaninu fyrir Fljótsdalsvirkjun. Einnig liggja fyrir mæld rennslisgögn af þessum svæðum síðustu ár.

6. Heimildir

Erlingur E. Jónasson og Árni Snorrason, 1996. *Hraunavirkjun. Kostnaðaráætlun - kerfisgrein-ing*. Orkustofnun, OS-96009/VOD-01.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 1996. *Fljótsdalsvirkjun, Rennslislíkan II*.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen, 1993. *Virkjanalíkan Orkustofnunar*.

VIÐAUKI A

Greinargerð - Orkugeta Hraunavirkjunar

Samkvæmt beiðni vatnsorkudeildar Orkustofnunar hefur verið reiknuð orkugeta Hraunavirkjunar og fundið samband milli orkugetu og aðs annars vegr og orkugetu og miðlunarrýmis hins vegr.

Forsendur

Rennsli

Eftirfarandi forsendur hafa verið gerðar um rennsli til Hraunavirkjunar. Rennslisraðir voru fengnar hjá Verkfæðistofnuni Vatnaskilum skv. nýendurskoðuðu rennslislíkani. Hlutfallstölur til að varpa rennslinu yfir í þá safnpunkta sem gilda fyrir Hraunavirkjun voru fengnar frá Orkustofnun.

Miðlað rennsli til Eyjabakkamiðlunar

	Röð	m3/s	Hlutfall	m3/s
Hafursárskurður	R121	0,51	1,0000	0,51
Jökulsá	R118	22,43	1,0000	22,43
Vatnadal	R144	4,63	0,2090	0,97
Kelduá	R143	3,58	1,0201	3,65
Gnjótá				
Innri-Sauðá				
Ytri-Sauðá				
Fellsá				
Sultarranaá				
Samtals miðlað rennsli				38,07

Rennsli þessara staða var fengið á Orkustofnun sem ein röð og þá búið að taka tilit til hámarksrennsils niður í göng.

Ómiðlað rennsli til virkjunar

	Röð	m3/s	Hlutfall	m3/s
Hornbjörnja	R147	Sjá ath. hér að ofan		2,23
Samtals miðlað rennsli				2,23
Samtals rennsli				40,30

Grunnkerfi

Eftirfarandi grunnkerfi var notað í orkugetuútreikningunum. Þetta er sama kerfi og var notað til að meta orkugetu Fljótsdalsvirkjunar fyrir í haust.

Núverandi kerfi	
stækkun Blönduláns (400 GI)	Nesjavellir II (30 MW)
stækkun Kröflu (30 MW)	Hágöngulón (383 GI)
aflaukning í Búrfelli (i 270 MW)	Sultartangavirkjun (120 MW)
5. áfangi Kvíslaveitu	Vatnafellsþirkjun (140 MW)
hækkuð stíflu í Laxá (6 MW)	Nordlingaölduveita
Nesjavellir I (30 MW)	Búðarhálsþirkjun (115 MW)

Skipting markaðar er 70% stóriðja og 30% almennur markaður

Virkjun

Gert er ráð fyrir að rekstrarfallhað virkjunarinnar sé 596 m sem gefur orkustuðul 1,461 GWh/GI. Það er ekki gert ráð fyrir að orkustuðull breytist með stöðu lónsins

Niðurstöður

Orkugeta grunnkerfis var fundin 9762 GWh/ár

Gerðar voru þrjár athuganir, fundið var samband orkugetu og afsl fyrir tvö mismunandi lónrými, 700 GI (a) og 500 GI (b) og síðan samband orkugetu og lónrýmdar fyrir 250 MW afsl (c).

Niðurstöður voru eftirfarandi og eru þær einnig settar fram á myndum 1 og 2.

(a) Lónrými 700 GI

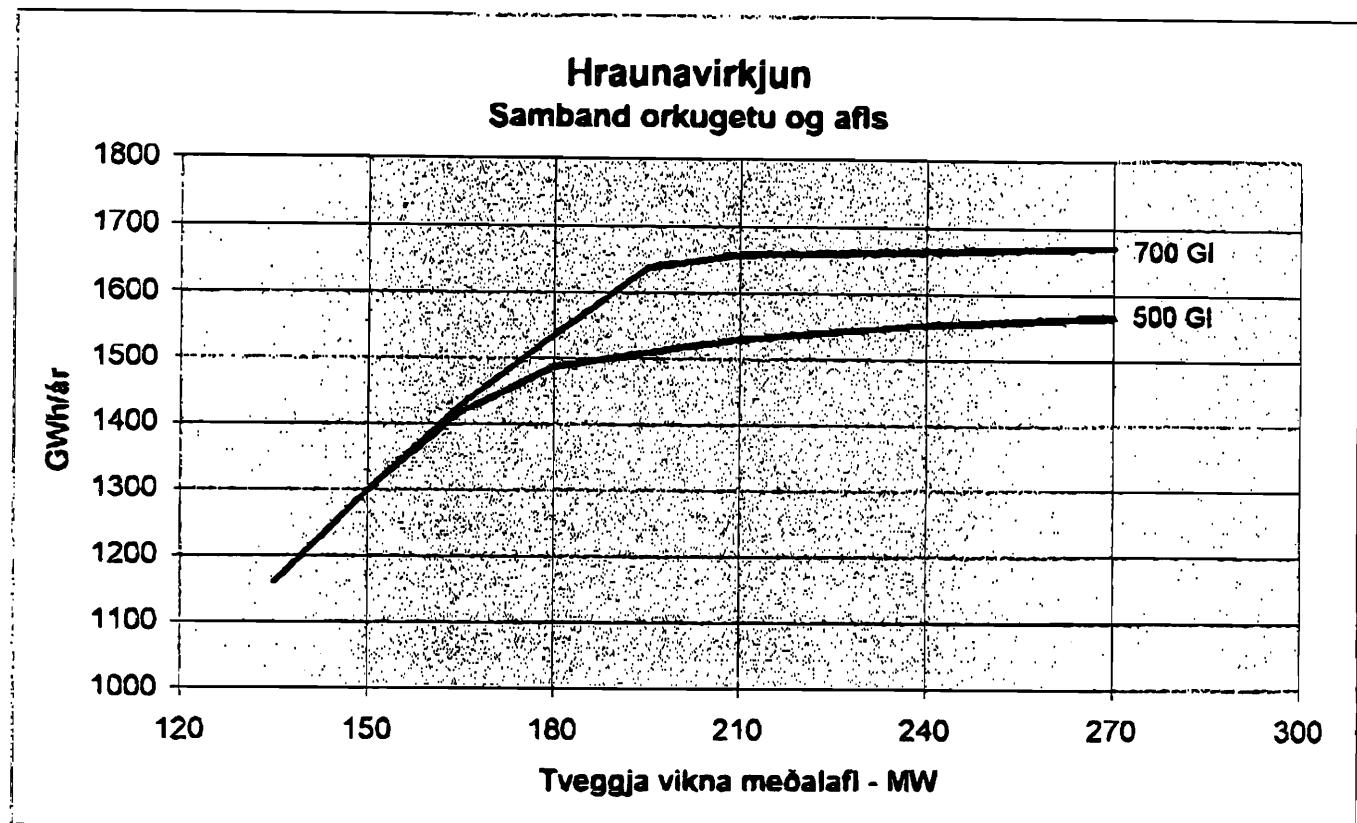
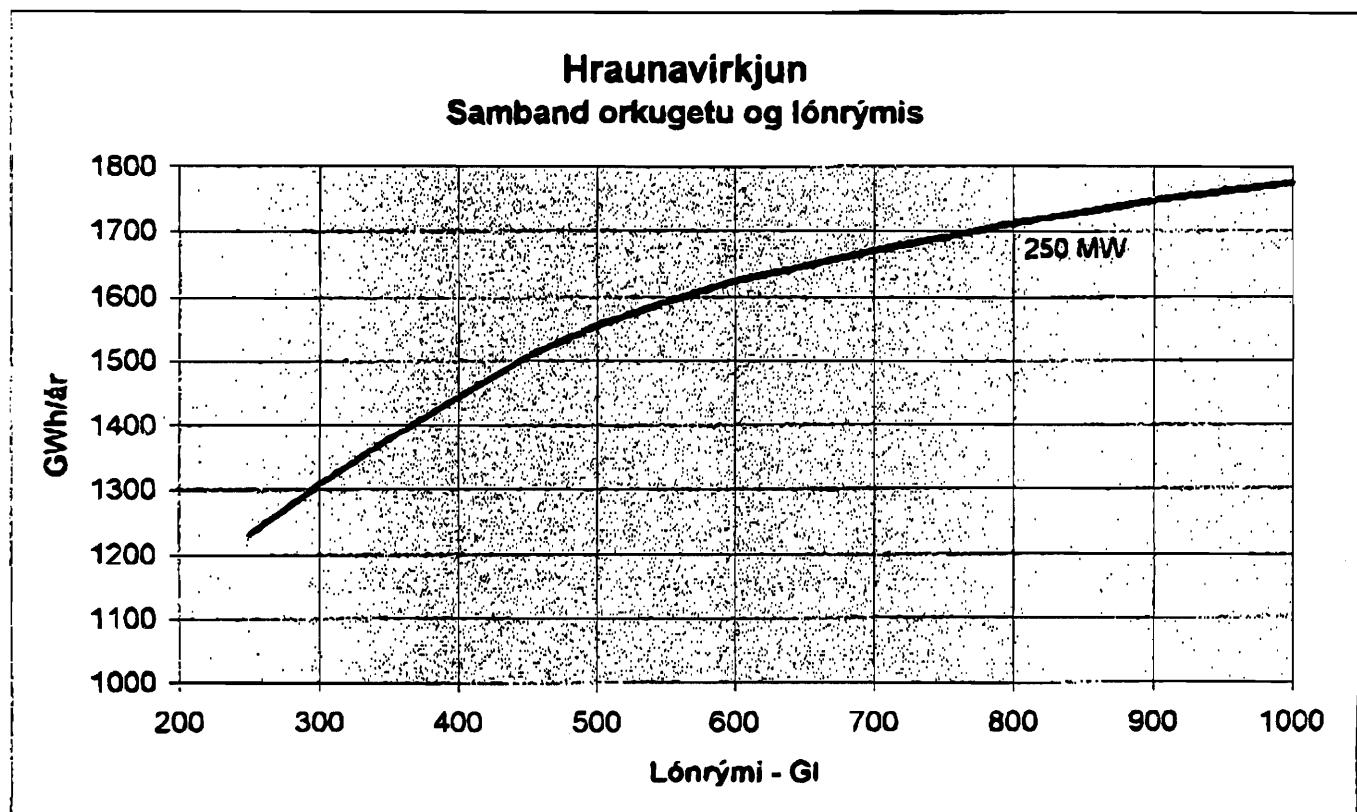
Afl	Qmax	Orkugeta kerfis	Orkugeta virkjunar
MW	m3/s	GWh/ár	GWh/ár
135		10921	1159
150	28,36	11061	1299
165	31,20	11190	1428
180	34,04	11300	1538
195	36,87	11400	1638
210	39,71	11420	1658
240	45,38	11426	1664
270	51,06	11432	1670

(b) Lónrými 500 GI

Afl	Qmax	Orkugeta kerfis	Orkugeta virkjunar
MW	m3/s	GWh/ár	GWh/ár
135	25,53	10921	1159
150	28,36	11061	1299
165	31,20	11180	1418
180	34,04	11250	1488
210	39,71	11294	1532
240	45,38	11317	1555
270	51,06	11330	1568

(c) Afl 250 MW

Miðlun MW	Orkugeta kerfis GWh/ár	Orkugeta virkjunar GWh/ár
250	10992	1230
300	11069	1307
350	11140	1378
400	11205	1443
450	11269	1507
500	11318	1556
550	11354	1592
600	11385	1623
650	11408	1646
700	11432	1670
750	11452	1690
800	11474	1712
900	11510	1748
1000	11537	1775
		11405

**Mynd 1. Samband orkugetu og afsl fyrir Hraunavirkjun****Mynd 2. Samband orkugetu og lónrýmis fyrir Hraunavirkjun**

Ályktanir

Það kemur fram á mynd 1 að sé lónrými nægilegt, þá er ekki ástæða til að hafa afl Hraunavirkjunar of mikil. Miðað við að lónrými sé 700 GI þá er enginn ágóði af hálfs mánaðar meðalafli umfram 210 MW. Það fer síðan eftir forsendum um nauðsynlegt reiðuafl i kerfinu hvert uppsett afl virkjunarinnar ætti þá að vera, sé gert ráð fyrir 7% reiðuafl þá reiknast uppsett afl 240 MW. Sé krafan hins vegar 15% reiðuafl þyrfi uppsett afl að vera 260 MW.

Í ljósi þess að jaðarkostnaður afsl í Hraunavirkjun er mjög hár vegna lengd vatnsvega og þess að Landsvirkjun metur nauðsynlegt reiðuafl i kerfinu nú um 7%, þá virðist að uppsett afl í Hraunavirkjun þurfi ekki að vera meira en 240 MW.

Það er ekki eins afgerandi á mynd 2 hvað sé hentugasta lónrými fyrir Hraunavirkjun. Þar þyrfi að gefa sér forsendur um orkuverð og jaðarkostnað miðlunarinnar til að finna hagkvæmstu stærð hennar. Líklega ráða þó umhverfissjónarmið miklu þar um og miðað við lög um virkjun Fljótsdalsvirkjunar þá er hámarksstærð Eyjabakkalóns 700 GI.

Miðað við að Hraunavirkjun sé 240 MW og 700 GI þá er orkugeta hennar um 1865 GWh.

Gert í Reykjavík, 28 nóvember 1996.

Magnús Sigurðsson