



ÖRVIRKJUN Á EYRARLANDI Í FLJÓTSDAL

Gísli Örn Guðmundsson

Lokaverkefni í rafiðnfræði

2013

Höfundur/höfundar: Gísli Örn Guðmundsson

Kennitala: 260974-5729

Leiðbeinandi: Kristinn Sigurjónsson

Tækni- og verkfræðideild

School of Science and Engineering



Tækni- og verkfræðideild

Heiti verkefnis:

Örvirkjun á Eyrarlandi í Fljótsdal

Námsbraut:

Rafiðnfræði

Tegund verkefnis:

Lokaverkefni í rafiðnfræði

Önn:

2013-3

Námskeið:

RI LOK
1006

Ágrip:

Bygging örvirkunar á Eyrarlandi í Fljótsdal. Fylgst var með bygginu og gangsetningu virkunarinnar, niðurstölur metnar og lagt mat á árangurinn og hvaða endurbætur væru nauðsynlegar og líklegar til að skila betri árangri.

Höfundur:

Gísli Örn Guðmundsson

Umsjónarkennari:

Kristinn Sigurjónsson

Leiðbeinandi:

Kristinn Sigurjónsson

Fyrirtæki/stofnun:

Dagsetning:

16.01.2014

Lykilorð íslensk:

Lykilorð ensk:

Dreifing:

opin

lokuð

til:

Efnisyfirlit

1 Inngangur.....	1
2 Um vatnsaflsvirkjanir.	3
3 Vatnsafl og vatnsorka.....	5
3.1 Rennsli.....	5
3.2 Fallhæð.....	7
3.3 Vatnsafl.....	8
4 Mannvirki.....	9
4.1 Inntaksmannvirki.....	9
4.2 Stöðvarhús.....	12
4.3 Vatnsvegir.....	13
5 Vél og rafbúnaður.....	14
5.1 Vatnshverfill.....	14
5.2 Rafall.....	15
5.3 Nýtni.....	17
5.4 Strengur og skamhlaupsútreikningar.....	17
6 Fyrsta gangsetning virkjunnar á Eyrarlandi.....	19
7 Niðurstöður mælinga og útreikninga.....	20
8 Kostnaður.....	30
8.1 Rafmagnsnotkun á Eyrarlandi.....	31
9 Lokaorð.....	33

1. Inngangur

Í þessu lokaverkefni mun ég setja á blað ýmis gögn er varða byggingu og gangsetningu örvirkjunar á Eyrarlandi í Fljótsdal. Verkefnið kom svo að segja upp í hendurnar á mér vorið 2013 þegar ég heyrði af byggingu þessarar virkjunar. Ég er búsettur í Danmörku og hafði verið að litast um eftir hentugu verkefni en ekkert áhugavert hafði rekið á fjörur mínar. Það voru því tiltölulega hæg heimatökin að hafa samband við frænda minn, Þorvarð Ingimarsson bónda á Eyrarlandi og fá leyfi hans til að koma að þessu verkefni hans á einn eða annan hátt og skjalfesta meðal annars tæknilegar upplýsingar og útreikninga í þessu lokaverkefni mínu. Vonandi gæti það orðið okkur báðum að gagni.

Ég hafði sjálfur mjög takmarkaða reynslu af örvirkjunum fyrir utan það litla sem ég hef lært um virkjanir í námi mínu til rafvirkja og svo það sem tengist raforkukerfisfræði í námi mínu til rafinðfræðings. Eftir að hafa fengið gagnlegar ábendingar úr ýmsum áttum um það hvaða gögn væru tiltæk um framkvæmdir sem þessar hófst ég handa við afla gagna og lesa mér til um gerð smávirkjana. Þar má helst nefna ritið Litlar vatnaflsvirkjanir frá árinu 2010 (2. útgáfa) sem verkfræðistofan Mannvit vann fyrir lðnaðar- og viðskiptaráðuneytið. Þar er farið mjög ítarlega yfir slík mannvirki hvað varðar undirbúning og alla framkvæmd verkefna af þessu tagi.

Það veður að segjast að eftir þann lestur runnu á mig tvær grímur er varðar framkvæmd þessarar örvirkjunar á Eyrarlandi í Fljótsdal. Í samtölum mínum við frænda minn sem hafði ráðist í þessa framkvæmd gat ég engan veginn dregið þá ályktun að áðurnefnt rit um gerð smávirkjana hefði verið haft að leiðarljósi þegar ráðist var í framkvæmdina. Hvergi hafði komið fram í okkar samtölum að framkvæmdar hefðu verið mælingar á vatnsrennsli og þar af leiðandi virkjanlegu vatnsmagni sem eru grundvallar upplýsingar þegar ákveðið er ráðast í framkvæmd sem þessa. Ekki aðeins hvað varaðar þá grundvallar spurningu hvort að vatnsmagn sé nægilegt til að það réttlæti að ráðist sé í framkvæmdina, heldur einnig eru það afar mikilvæg gögn þegar kemur að vali á vélasamstæðu fyrir virkjunina og eins vali á aðrennslispípum. Allt eru þetta mikilvægar upplýsingar til að mögulegt sé að hámarka afköst og nýtingu í slíku mannvirki.

Sú tilfinning sem ég fékk eftir samtöl mín við Þorvarð var að þarna hefði „íslenska aðferðin“ orðið fyrir valinu þegar ákveðið var að ráðast í þessa framkvæmd. Sú aðferð byggist eins og við þekkjum mæta vel á því að þá er farið af stað í framkvæmdina með það sem hendi er næst. Þau tæki, þekking og efniviður sem er í boði hverju sinni fyrir lítinn pening, er nýttur og sá búnaður sem er við

hendina eða hægt er að útvega með stuttum fyrirvara og á ódýran og fyrirhafnarlítinn hátt verður fyrir valinu. Tíminn leiðir svo í ljós hvort að sá búnaður var réttur og hvort að sú reynsla sem menn hafa af umhverfi sínu, í þessu tilfalli reynsla af þeim vatnsföllum sem virkja átti, voru nægjanleg ein og sér til að virkjunin verði eins hagkvæm og vænta má af slíkum mannvirkjum.

2. Um vatnsaflsvirkjanir

Beislun vatnsorku á sér langa sögu á Íslandi og elstu minjar sem fundist hafa eru frá Torfastöðum í Fljótshlíð. Þar fannst kornmylluhús frá miðöldum í lækjarfarvegi og í því kvarnasteinar og að því er virtist rennustokkur. Það var þó ekki fyrr en á 18. öld að kornmyllur fóru að rísa víða um landið. Undir lok nítjándu aldar höfðu menn náð tökum á rafmagninu og áttað sig á því að vatnsorka var einn öflugasti orkugjafinn til raforkuframléiðslu. Fyrsta vatnsaflsvirkjunin á Íslandi var reist árið 1904 í Hamarskotslæk í Hafnarfirði af Jóhannesi Reykdal. Hann rak trésmíðaverkstæði þar sem vélarnar voru knúnar af vatnshjóli. Síðar tengdi hann rakstraumsrafala við vatnshjólið og fékk þannig nóg rafmagn til að lýsa upp verkstæðið og 16 önnur hús í nágrenninu. Afl stöðvarinnar var í upphafi 4kW en var síðar stækkuð í 9kW.¹

Venja er að flokka litlar virkjanir í þrjá flokka eftir uppsettu afli. Flokkunin er mismunandi eftir löndum, en hér á landi er miðað við eftirfarandi :

1. Örvirkjun; með uppsett afl undir 100kW. Undir þennan flokk falla svokallaðar heimilisrafstöðvar til eigin nota, sem eru að jafnaði undir 30kW
2. Smávirikjun; með uppsett afl á bilinu 100-300kW
3. Lítil virikjun; með uppsett afl á bilinu 300-1000kW

Virkjanir eru einnig flokkaðar eftir því hvað fallhæð vatnsins að virkjuninni er mikil og á Íslandi er miðað við eftirfarandi:

1. Lítil fallhæð miðast við minna en 50m
2. Meðalfallhæð miðast við 50-250m
3. Mikil fallhæð miðast við meira en 250m

Almennt er sagt um virkjanir að virkjun með mikilli fallhæð sé líklegri til að verða hagkvæmari en virkjun með litla fallhæð. Er það vegna þess að því meiri sem fallhæðin er því minna rennsli þarf til að framléiða hverja einingu af raforku. Af því leiðir að vatnsvegir og búnaður sem er í snertingu við vatnið verða minni um sig og ódýrari, svo sem inntakslón, þrýstipípa og hverfill. Vantshverflar eru mismunandi og er vænlegast til árangurs að þeir séu valdir með tilliti til fallhæðar og streymis. Að auki eru virkjanir skilgreindar eftir því hvort um er að ræða svokallaðar rennslisvirkjanir, en slíkar virkjanir eru án miðlunarlóns og nýta vatn eða hluta vatns sem rennur hjá inntaki eftir náttúrlegum kringumstæðum og ekki

¹Einar H. Ágústsson, 2007. Raforkukerfi Íslands, Háspennukerfi 5.útgáfa.

er gerð tilraun til að safna því umfram vatni sem ekki nýtist hverju sinni. Eins og gefur að skilja er framleiðsla slíkar virkjunar algjörlega háð náttúrufari hverju sinni og treysta þarf á stöðugt rennsli í virkjuðu vatnsfalli. Hins vegar eru virkjanir með miðlunarlóni, sem byggir á því að safna vatni í lón og nýta vatnið eftir þöfrum yfir árið. Slík virkjun hentar betur í þeim tilvikum þar sem framleiða þarf orku eftir breytilegum þörfum notandans. Hægt er að hafa uppsett afl virkjunar nokkuð nærri minnsta meðalrennsli vatnsfallsins sem virkjað er. Það er því í fljótu bragði hægt að segja að virkjun með miðlunarlóni sé fýsilegri kostur á Íslandi, sér í lagi á svokölluðum köldum svæðum þar sem hýbýli eru hituð með raforku.

Það má því í ljósi ofangreindra skilgreininga flokka virkjunina á Eyrarlandi í Fljótsdal sem hér er til umfjöllunar sem örvirkjun með miðlunarlóni og meðal fallhæð.

3 Vatnsafl og vatnsorka

3.1 Rennsli

Rennslið er einn mikilvægasti þátturinn í mati á vatnsafl og raforkuframleiðslu. Orkuframleiðslan ræðst af rennslinu og fallhæðinni. Rennslið er gjarnan breytilegt og því er það rennslið sem ákvarðar orkuframleiðsluna frá einum tíma til annars. Það skiptir miklu máli að velja hverfil af hæfilegri stærð. Hann ætti ekki að vera það stór að hann sé sjaldan á fullum afköstum, og heldur ekki svo lítill að hann nýti ekki nema hluta þess rennslis sem í boði er.²

Ekki var farið út í neinar rannsóknir á rennsli og vatnsmagni í tengslum við undirbúning fyrir virkjunarframkvæmdir á Eyjarlandi. Engar mælingar voru gerðar á því úr hve miklu vatnsmagni væri úr að spila. Á móti má segja að reynsla Þorvarðar af því vatnsfalli sem virkjað er sé talsvert mikil. Hann er fæddur og uppalinn á Eyjarlandi og hefur því rúmlega 40 ára reynslu af bæjarlæknum og öðrum vatnsföllum fyrir ofan bæinn á Eyjarlandi sem stendur við rætur Fljótsdalsheiðar. Nánar til tekið á vegamótunum þar sem keyrt er upp á Fljótsdalsheiði og áleiðis til Kárahnjúka. Eftir samtöl mín við Þorvarð, virðist vera hægt að draga þá ályktun að lækurinn sem virkjaður er sé blanda af rennsli frá lindám og dragám. Bróðir Þorvarðar hefur unnið fyrir hann að vatnsmiðlun upp á brún Fljótsdalsheiðar með því að leggja rör frá ýmsum stærri lækjum og lónum upp á heiðinni og veita því niður í lækinn sem rennur niður að stíflunni. Eru þetta lón og lækir sem þurkast aldrei upp á neinum tímamarki yfir árið og standa vonir til að þessar aðgerðir geri það að verkum að alltaf verði nægt vatn í stíflunni og því ætti virkjunin að geta keyrt á fullum afköstum allan ársins hring ef því er að skipta. Er ég kom í Eyjarland í júlí 2013 var lækurinn ekki mikill að sjá og rennslið virtist í þeirri heimsókn ekki sérlega ákjósanlegt til virkjunarframkvæmda. Annað var þó upp á teningnum um miðjan október og var greinilegt að veitufurframkvæmdir þær sem gerðar voru upp á heiðinni höfðu borið tilætlaðan árangur og vatnsmagn í læknum margfaldast. Byrjað var að safna vatni í lónið í september 2013 og var það tiltölulega fljótt að fyllast og síðan þá hefur veið nánast stöðugt rennsli á yfirfallinu. Það var þó eftir nokkrar frosthörkur í desember að þrufti að grípa til þess að minnka vatnsmagn inn á vatnsvélina þar sem lónið var komið niður fyrir yfirfall og farið að ganga nokkuð á vatnsbygðir. Að öllu jöfnu virðist þó sem úr nægu vatni sé að spila, að því gefnu að ekki komi löng tímabil með miklum frosthörkum. Frá því í lok nóvember og fram til loka desember var virkjunin keyrð á fullu vatnsafl á vanvandkvæða hvað varða

² Mannvit 2010. Litlar vatnsaflsvirkjanir bls 7.

vatnsbúskap. Möguleiki mun einnig vera á að veita meira vatni í lækinn frá áðurnefndum ám og lónum á heiðinni ef þörf krefur. Eins og staðan er í dag virðist þó sem vel hafi til tekist með byggingu stíflunnar og vatnsmiðlun í hana og því ekki ástæða til að hafa áhyggjur af því að sinni.



Séð yfir stífluna (október 2013)

3.2 Fallhæð

Brúttó- eða heildarfallhæð fyrir vatnsorkuver er hæðarmunurinn á milli vatnsborðs í inntakslóni og í frárennslisskurði. Fallhæðin sem nýtist er mismunandi eftir gerð hverfilsins. Ef um er að ræða spyrnuhverfil (t.d. Pelton), nýtist fallhæðin að bunustútnum inn á hverfilinn. Þetta kallast nýtanleg fallhæð. Nettó- eða virk fallhæð er nýtanleg fallhæð að frádregnu þrýstifalli í vatnsvegum frá inntaki að hverfli.³

Þegar stíflunni og stöðvarhúsinu á Eyrarlandi hafði verið ákveðinn staður, var fallhæð mæld með gps tæki. Sú mæling sýndi að nýtanleg fallhæð væri um 65 metrar sem telst vera fallhæð í meðallagi skv. flokkun í riti Mannivts. Þegar vatni var fyrst hleypt á lögnina í september sýndi þrýstimæir á vatnsvél um 6,5 bör. Samkvæmt þeim upplýsingum er hægt að reikna fallhæðina samkvæmt eftirfarandi formúlu.

1 bar jafngildir 10,18 metra vatnssúlu

$6,5 \times 10,18 = 66,17$ eða rúmir 66 metrar

Það er því ljóst að þessum mælingum, þ.e, gps mælingunni og þrýstimælinum ber nokkuð vel saman.

³Mannvit 2010. Litlar vatnsaflsvirkjanir bls 9.

3.3 Vatnsafl

Vatnsafl í fallvatni ræðst af vatnsrennslinu og fallhæðinni. Nýtanlegt vatnsafl (P) er mælt í kílóvöttum (kW) eða megavöttum (MW). Aflið er margfeldi af fallhæðinni (H) og rennslinu (Q) í gegn um hverfilinn ásamt stuðli sem tekur tillit til nýtini keftisins og þyngdarhröðunar. Vatnsaflíð má reikna með eftirfarandi formúlu :

$$P = \eta g \rho Q H$$

þar sem :

P er vatnsaflíð mælt í kílóvöttum (kW)

Q er rennslið í gegnum hverfilinn, mælt í rúmmetrum á sekúndu (m^3/s)

H er heildarfallhæðin, mæld í metrum (m)

G er þyngdarhröðunin við jörð ($g = 9,81 (m/s^2)$)

ρ er eðlisþyngd vatns (kg/lítra)

η er nýtni

Þessa formúlu má svo einfalda og skrifa á eftirfarandi hátt:

$$P = k Q H$$

þar sem k er stuðull, sem er margfeldi af nýtninni, þyngdarhröðunninni og eðlisþyngd vantsins; $k = \eta g \rho$ Fyrir smávirkjanir má gera ráð fyrir að k geti verið um 7, sem jafngildir því að heildarnýtni kerfissins sé um 70%. Orkan sem tapast er því um 30% og samanstendur af eftirfarandi töpum:

Töp vegna þrýstifalls í vatnsvegum

Töp vegna nýtni hverfils

Töp vegna nýtni gírs á milli hverfils og rafala ef um slíkt er að ræða

Töp vegna nýtni í rafala í spennum⁴

Farið er nánar út í framleiðslugetu virkjunarinnar eftir vatnsafl í kafla 7.

⁴ Mannvit 2010. Litlar vatnsaflsvirkjanir bls 10-11.

4. Mannvirki

4.1 Inntaksmannvirki

Með orðinu inntaksmannvirki er átt við stíflu og mismunandi hluta hennar. Inntaksmannvirki þjóna m.a. eftirfarandi tilgangi:

Halda hæð vatnsborðs innan ákveðinna marka

Beina hluta vatnsins að vatnsvegi virkjunnar

Hleypa umframvatni framhjá í vatnsfallið sem virkjað er

Inntakið er talið vera einn mikilvægasti byggingarhluti vatnsvirkjunar. Ef vel tekst til við hönnun inntaksmannvirkja eru miklar líkur á að rekstur virkjunarinnar gangi vel. Algengt er að rekstrarvandamál í litlum virkjunum megi rekja til vandamála við inntakið. Óháð byggingarlagi eða byggingarefnum þarf inntakið að vera með eftirfarandi búnaði:

Inntaksop að vatnsvegi til virkjunarinnar, með inntaksrist sem varnar því að aðskotahlutir komist í vatnsveginn að virkjuninni

Inntaksloki eða sérsníðuð inntaksloka, ef um er að ræða mikið rennsli. Neðan við lokann þarf að vera öndunarrör.

Yfirfall sem tryggir að umframvatn flæði út úr inntakslóninu og í náttúrulegan árfarveg. Yfirfallið heldur þannig vatnsborði inntakslónsins innan ákveðinna marka.

Botnrás sem er notuð til að skola út mül og sandi sem sest getur við inntaksopið.⁵

⁵Mannvit 2010. Litlar vatnsaflsvirkjanir bls 15.



Stíflan í landi Eyrarlands í Fljótsdal, (október 2013)

Eins og áður sagði var byggð stífla í landi Eyrarlands veturinn 2012-2013. Var það Þorvarður sjálfur sem hannaði og byggði stífluna og naut við það m.a, aðstoðar sonar síns, tengdasonar og bróður. Áætlað er að síflan rúmi u.þ.b. 340 rúmmetra af vatni eða sem samsvarar 340 þúsund lítrum. Þessi tala er fengin með því að áætla að meðaldýpi í lóninu sé 1,5 metri. Lónið er svo um 15 metrar á lengd og 15 metrar á breidd. Þannig fæst $15 \times 15 \times 1,5 = 337,5$ eða um 340 rúmmetrar. Stíflan er steipt upp í árfarveginum upb 450 metrum fyrir ofan stöðvarhúsið. Stíflan er hefðbundin með inntaksopi og rist, að vatnsvegi til vikjunar og inntaksloka sem staðsettur er á vatnslögninni, um 12 metrum fyrir neðan inntaksop. Yfirfall stíflunnar er 4,5 metrar á breidd en stíflan sjálf um 20 metrar á breidd. Mesta hæð stíflunnar er 3,2 metrar. Tíminn mun leiða í ljós hversu vel hefur tekist með byggingu stíflunnar en hún lofar þó góðu, til að mynda er yfirborðshraði vatns í lóninu nægilega lítill til að vatnsyfirborðið í lóninu frjósi, en það gerðist strax í október í fyrstu frostum vetrarins. Það eru góðar fréttir með tilliti til þess að þá er minkandi hættu á myndun grunnstinguls. Grunnstingull eru svokallaðar ísnálar eða ískristallar sem myndast í lóninu undir yfirborðinu. Þetta gerist þegar vatnið verður undirkælt

og nær að frjósa og mynda ísnálar. Þessar ísnálar geta verið hvítleiðar og stíflað inntaksristar eða borist inn í vatnsvegi og valdið skaða.



Inntaksop stíflunnar



Lónstæðið (júlí 2013)

4.2 Stöðvarhús

Hlutverk stöðvarhússins er að verja vél- og rafbúnað og skapa aðstöðu til eftirlits með búnaði og rými til viðhalds og viðgerða. Fyrirkomulagið þarf að miða að því að uppsetning búnaðar sé sem þægilegust, svo og aðgengi að búnaði með tilliti til eftirlits og viðhaldsvinnu. Stærð stöðvarhúsa ræðst aðallega af afköstum virkjunarinnar en er þó háð gerð hverfils og umfangi annars búnaðar.⁶

Stöðvarhúsið á Eyrarlandi er í eðli sínu einfaltt mannvirki. Steyptur grunnur og gólfplata. Í grunninum er þró sem nýtist sem afrennsli. Ofan á grunninn var svo settur lítill gámur 250 x 180 cm að stærð og hýsir hann vatnsvél og rafal.



Stöðvarhúsið í október 2013

⁶ Mannvit 2010. Litlar vatnsaflsvirkjanir bls 18.

4.3 Vatnsvegir

Vatnsvegir eru þeir hlutar virkjunarinnar sem flytja vatnið frá inntakslóninu að stöðvarhúsinu og frá stöðvarhúsinu til baka í ána. Hér er því bæði átt við aðrennsli að vatnsvél og frárennsli. Gerð vatnsvega gæti virst einföld, í ljósi þess að hægt er að kaupa allar gerðir og stærðir af pípum. Til að ná sem hagkvæmasti lausn þarf hins vegar að huga að ýmsum þáttum.⁷

Grafinn var 500 metra langur skurður frá inntaksmannvirkjum á Eyrarlandi niður að stöðvarhúsi. Plaströr (PEH) voru soðin saman á staðnum og löggð í skurðinn og mokað yfir. Samkvæmt fyrstu upplýsingum sem ég fékk var þvermál plastpípunnar 200mm frá inntaki niður að stöðvarhúsi. Ekki voru gerðar neinar sérstakar athuganir á því hvaða gerð eða stærð á rörum væru hentug með tilliti til vélasamstæðu, fallhæðar og rennslis sem er fyrir hendi á Eyrarlandi, en miðað var við reynslu af virkjunum af sambærilegri stærð með svipaða fallæð. Í riti Mannvits er meðal annars komið inn á þvermál þegar hugað er að undirbúningi fyrir vatnsvegi og segir:

Þvermál: Því meira sem þrýstifallið í pípunni er (orkutöþ) því minni verður orkuvinnslan, en hins vegar verður stofnkostnaðurinn lægri. Kanna þarf hvaða þvermál er hagstæðast með tilliti til þessara þátta.⁸



Aðrennislögn að stöðvarhúsi (júlí 2013)

⁷Mannvit 2010. Litlar vatnsaflsvirkjanir bls 18-19.

⁸Mannvit 2010. Litlar vatnsaflsvirkjanir bls 19.

5. Vél og rafbúnaður

5.1 Vatnshverfill

Þorvarður fékk vatnsvélina hjá bróður sínum Sveini, en hann hafði átt þessa vél um nokkurt skeið og hún staðið ónotuð. Hún mun vera smíðuð á Eskifirði og er af Pelton gerð. Pelton hverflar eru taldir henta vel við mikla fallhæð og lítið rennsli. Ekki er vitað til þess að þessi vél hafi verið notuð áður og því ekki til neinar heimildir um reynslu af þessari vél. Telja má líklegt að hún sé smíðuð upp eftir annari samskonar vél sem höfð hefur verið sem fyrirmynd við smíðina. Um það eru þó ekki heimildir. Með Pelton hverfli er átt við að hér er á ferðinni spyrnuhverfill sem í þessu tilviki er með láréttum snúningsás sem er algengara í litlum virkjunum. Vatninu er beint að vatnshjólinu með svokölluðum bunustútum, bunan lendir á blöðunum og knýr þannig hjólið áfram. Lögun blaðanna er þannig að þegar bunan lendir á þeim, klofnar hún í tvennt og þaðan fellur vatnið niður í frárennslið. Svokallað hverfilhús umhverfis vatnshverfilinn varnar því síðan að vatn slettist út um allt. Vélin er búin svokölluðum bunuskeri. Bunuskeri er hugsaður til að minka bunu eða beina henni alveg frá vatnshjólinu ef taka þarf álag snögglega af hverflinum, t.d. ef álag fer af virkjuninni. Bunuskeri þassarar tilteknu vélar virkar þó einungis með handafla eins og er, en það mætti þó á einfaldan hátt setja á hann tjakk sem hægt væri að stýra á vél- og rafrænan hátt og stjórna þannig bununni inn á vélina falli álag út og vernda þannig vél og rafal fyrir yfirsnúningi.



Séð inn í hverfilhúsið á vatnsvélinni.

5.2 Rafall

Rafalinn er það tæki sem breytir snúningsorku hverfilsins í raforku. Rafalan sem notaður er í virkjuninni á Eyrarlandi, fékk þorvarður frá Sveini bróður sínum ásamt vatnsvélinni. Um er að ræða 16kVA rafala sem er af gerðinni Stamford BC-164, samfasa með sjálfvirkum spennustilli og stillanlegri segulmögnun. Getur rafalinn framleitt 12,8kW mv 81,6% nýtni.



Rafalinn á Eyrarlandi, Stamford BC-164

Rafalar geta verið af ýmsum geðum en þeir rafalar sem henta í okkar kerfum eru riðstraumsraralar og skiptast þeir í tvo flokka eftir því hvort um er að ræða samfasa (synchron) eða ósamfasa (asynchron) rafala. Rafali samanstendur í meginráttum af tveimur megin grunþáttum, þ.e, sátri (sator) og snúð (rotor). Samfasa rafalar eins og sá sem hér um ræðir eru þeir rafalar sem algengastir eru í virkjunum. Slíkur rarali samanstendur af þremur þáttum þ.e. grunnþáttunum sátri (stator) og snúð (rotor) og síðan segulmögnunarbúnaði (exciter). Með segulmögnunarbúnaðinum er spennu og aflstuðli stýrt. Búnaðurinn er aðallega tvenns konar og í tveimur útfærslum þ.e, með eða án sleituhringja og svo annars vegar með auka jafnstraumsrafala áföstum ás rafalans eða rafbúnaður sem tengdur er utanaðkomandi aflgjöfum svo sem rafhlöðum.⁹

Rafalinn á Eyrarlandi er búinn stillanlegri segulmögnun. Segulmögnunarstraumur er jafnstraumur og er því rafalinn búinn rás með afriðilsbrú (díóðubrú) til að breyta úr riðstraumi í jafnstraum. Spenna er tekin frá rafalnum sjálfum þannig að tveir fasar frá rafalanum eru tengdir við þessa rás. Í þessari rás eru einnig þéttar og stillanleg viðnám sem hægt er að breyta til að hafa áhrif á segulmögnunarstrauminn í rafalanum í þeim tilgangi að stilla spennu frá rafalanum á ákveðið gildi, til dæmis 400V. Spenna rafalans fylgir lögmálum eftirfarandi jafna

$$E_o = k * n * \Phi$$

$$E_o = k * n * I_x \text{ (Þegar járnkjarni er ómettaður)}$$

Þar sem **E** spenna, **k** fasti, **n** er snúningshraði og Φ er fí eða segulsvið. Í neðri formúlunni er búið að skipta fí út fyrir **I_x** sem er þá segulmögnunarstraumurinn. Eins og sjá má er spennan háð segulmögnunarstraumi snúningshraða og fastanum **k**. Þar sem snúningshraðinn getur verið breytilegur er segulmögnunarstraumurinn þá einnig breytilegur til að halda spennunni stöðugri.

⁹Mannvit 2010. Litlar vatnsaflsvirkjanir bls 35.

5.3 Nýtni

Nýtni véla er almennt skilgreind sem hlutfallið á milli þess afls sem fæst út úr ákveðinni vél og þess afls sem sett er inn á vélina. Þetta er tala sem er minni en 1, en oft er nýtnin sett fram í prósentum. Heildarnýtni vél- og rafbúnaðar í vatnsorkuveri er hlutfallið milli rafaflsins sem kemur út af rafal og afslsins sem fólgið er í vatninu áður en það fer inn á hverfilinn. Heildarnýtnin er háð nýtni hverfilsins, rafals og drifbúnaðar á milli hverfils og rafala, ef um slíkt er að ræða. Heildarnýtni kerfisins fæst með því að margfalda saman nýtni einstakra hluta, þ.e, hverfils, rafala og drifbúnaðar.

Um Pelton hverfla segir: Nýtnikúrfan er flöt og er nýtinin gjarnan yfir 80% niður undir 20% álag. Eftir því sem bunustúturnir verða fleiri því flatari verður nýtnikúrfan. Vænta má hámarksnýtni á bilinu 86-90% fyrir litla hverfla. Hentar vel við breytilegt álag eða rennsli. ¹⁰

5.4 Strengur og skamhlaupsútreikningar.

Til að flytja rafmagnið frá stöðvarhúsi niður á notkunarstað í íbúðarhúsinu á Eyrarlandi er notaður 25q fjórleiðara álstrengur.

Finna má skammhlaupsstraum í loftlínunum og strengjum s.k.v. fyrirbyggjandi töflum. ¹¹

Fundið er raunviðnám og launviðnám samkvæmt uppgefnum línuritum um viðnám í köplum og samkvæmt því má finna eftirfarandi

Raunviðnám $1,5 \text{ m}\Omega * 1,7$. (Ef um álstreng er að ræða er margfaldað með 1,7)

Launviðnám $2,25 \text{ m}\Omega$

$$Z = 2,55 \text{ m}\Omega + j 2,25 \text{ m}\Omega$$

Samkvæmt öðru línuriti í sama hefti má svo finna út skammhlaupsstraum en það er þó nokkuð erfitt þegar kemur að köplum sem ekki hafa meiri sverleika en umræddur kapall. Með mikilli námundun má finna að skammhlaupsstraumur (**Ik**) í strengnum sé á bilinu 65-70kA. Viðnámið í rafalanum er mikið hærra heldur en

¹⁰ Mannvit, 2010. Litlar vatnsaflsvirkjanir bls 30,

¹¹ <https://myschool.ru.is/myschool/FileMgr/pdf.gif> (13,01,2014)

Í strengnum þar sem strengurinn er það stuttur, sem gerir það að heildar skammhlaupsstraumur er mun minni. Ef hann er reiknaður út miðað við uppsett afl rafalanns, 12,8kW

Byrja þarf á að finna heildar viðnám rafalansn Z_a

$$\text{Afl í hverjum fasa verður } P = \frac{12,8kW}{3} = 4,26 kW$$

$$Z_a = \frac{230,9^2}{4260} = 12,52\Omega$$

Hægt er að reikna með að pu (per unit) viðnám rafalans sé 5%

$$X_{pu} = 0,05 * 12,51 = 0,626$$

$$X_s + j2,25m\Omega = 0,628\Omega$$

$$Z = \sqrt{2,55m\Omega^2 + 0,628^2} = 0,628$$

Skammhlaupsstraumur kerfis, þ.e, rafala og strengs miðað við uppsett afl rafalsins verður þá

$$I_k = \frac{230,9}{0,628} = 367.5 A$$

Strengurinn sem valinn var frá rafala og heim í töflu er eins og áður sagði 25mm² álstrengur. Samkvæmt Íslenskum staðli um raflagnir bygginga er straumpól hvers leiðara 66A¹²

¹² Staðlaráð Íslands 2006. ÍST 200:2006. Raflagnir bygginga.

6. Fyrsta gangsetning virkjunarinnar.

Vatni var fyrst hleypt á lögnina þegar lónið var orðið fullt og gekk það vel. Lögnin hélt fyrir utan smávægilegt smit á einum stað sem þegar var gert við og hefur lögnin haldið eftir þá viðgerð. Einnig kom upp smávægilegt vandamál er tengist galla á hönnun á fráveitu en það vandamál hefur einnig verið leyst. Það urðu hins vegar öllu meiri vonbrigði þegar prófað var að keyra vélasamstæðuna undir álagi. Tengdir voru tveir hitablásarar við rafalann, 9 og 3kW og það er skemst frá því að segja að útkoman á því var ekki nógu góð. Eftir því sem álag var aukið dró niður í vélunum þó svo að uppgefið afl rafalanns ætti að ráða við þau 12kW sem til samans voru tengd við hann. Þó slökkt væri á 3kW blásaranum náði rafalinn einungis að framleiða 40hz spennu sem segir okkur að vélnarnar voru ekki að ná upp nægum snúningi. Reikna má út miðað við gefnar forsendur að rafalinn hefur 2 pólpör og framleiðir spennu á 40hz og þá fæst snúninghraðinn samkvæmt eftirfarandi útreikningi:

$$\frac{40 * 60}{2} = 1200 \text{ sn/mín}$$

Niðurstöður í kafla 7 sýna þó að þarna var verið að keyra vélarnar á of miklu álagi miðað við þær niðurstöður að hámarks vatnsafl sé 9,55 kW. Það var því strax ljóst að meira afl vantaði frá vatnsvélinni til að ná upp fullum snúningi á rafalnum, sem er gefinn upp fyrir afl upp á 12,8 kW miðað við 1500 sn/mín. Ég var ekki viðstaddur þessa fyrstu gangsetningu og hef því einungis munnlegar heimildir frá þorvarði til að stiðjast við en þó ber að geta að þessi niðurstaða er ekki ósvipuð þeirri sem fékkst þegar vélar voru gangsettar aftur í október eftir ákveðnar breytingar, þar sem ég var viðstaddur. Fljótlega eftir fyrstu gangsetningu komu stöðvarstjóri og vélsmiður frá Lagarfossvirkjun í Eyrarland og fengu þeir að fylgjast með vélunum vinna undir álagi og reyndu menn að gera sér grein fyrir hvað þyrfti að laga til að bæta útkomuna. Eftir að hafa opnað vatnsvélina og skoðað hana gaumgæfilega var ákvörðun tekin um að smíða nýjan bunustút fyrir vélina. Bunustúturinn stýrir vatninu á blöð hverfilsins og töldu menn að með því að stækka hann úr 25mm í 35mm til að byrja með, væri hægt að auka kraftinn í vatninu og þannig ná upp meiri snúningi. Það var því brugðið á það ráð að fá vélsmiðinn úr Lagarfossvirkjun til að smíða nýjan bunustút. Þegar þeirri smíði var lokið, var vélin sett saman á ný og gangsett.

7. Niðurstöður mælinga og útreikningar

Ég hafði gert mér ferð til Íslands til að vera viðstaddur og gera ýmsar prófanir og mælingar. Það er skemmst frá því að segja að þessar endurbætur á vélinni virtust ekki skila marktækum árangri. Það hefði þó verið fróðlegt að vera viðstaddur fyrstu skiptin sem virkjunin var keyrð áður en breytingar voru gerðar og gera sömu mælingar og ég gerði þegar búið var að breyta vélinni til að hafa samanburð. Mæld var spenna og straumur frá rafala og var það gert á eftirfarandi hátt:

Tengdur var 9kW þriggja fasa hitablásari við rafalan.

Mæld var spenna milli fasa og einnig milli núll og fasa

Skráð var minnsta, mesta og meðalgildi spennu.

Mældur var straumur með ampertöng á öllum fösum.

Niðurstöður má sjá í eftirfarandi töflum.

Spenna						
	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1-N	L2-N	L3-N
Max	344	346	346	200	199	199
Min	297	297	293	175	174	173
AVG	317	314	320	186	185	185
Hz	42,6					

Straumur			
	L1	L2	L3
Max	11,6	11,1	11
Min	10,2	10,2	9,8
AVG	10,9	10,65	10,4

Samkvæmt þessum niðurstöðum var framleiðsla rafalsins á þessum tíma

$$317V * 10,9A * \sqrt{3} = 5985 \text{ eða } 5,98kW$$

Álagið voru rafmagnsofnar og því er nánast um hreint raunafli að ræða. Það er því nokkuð ljóst að þessar breytingar á bunustútnum höfðu ekki þau áhrif sem

menn höfðu vænst. Það hlýtur að teljast athyglisverð niðurstaða þar sem að þrýstimælir fyrir framan vatnsvélina féll ekki stórkostlega við þessa breytingu. Áður en vatni er hleypt inn á vélina og vatn hefur safnast upp í lögninni stendur mælirinn í 6,5 börum en fellur síðan í 6,1 bar þegar vatni er hleypt inn á vélina. Þetta ætti að gefa til kynna að þrýstingur sé nægur þrátt fyrir þessa stækkun og að undir eðlilegum kringumstæðum hefði þessi breyting því átt að skila töluvert meira afli þar sem vatnsmagnið sem fer í gegnum vélina við þessa breytingu rúmlega tvöfaldast. Þrýstifallið samkvæmt þrýstimæli er þó á mörkum þess að vera of mikið eða rúm 6%.

Aðrar upplýsingar sem upp á borðið komu í þessari ferð minni, áttu eftir að flækja málin við útreikningana töluvert. Þær upplýsingar snéru að sverleika fallpípu. Ég hafði fram að þessu gengið út frá áðurgefnum upplýsingum þess efnis að sverleiki pípunnar væri 200mm allt frá stíflu og inn á vélina. Það reyndist á misskilningi byggt og þegar farið var nánar í saumana á því kom í ljós að notast hafði verið við pípur af fjórum mismunandi sverleikum við gerð fallpípunnar. Sverleiki lagnarinnar er því á eftirfarandi hátt.

Fyrstu 12 metrarnir frá stíflu eru 300mm plaströr

Næstu 180 metrar eru 225mm

Svo 300 metrar 200mm

Og síðast kemur um 2 metra langur kafli sem er 150mm að þvermáli.

Þegar þessar upplýsingar eru skoðaðar kemur ýmislegt áhugavert í ljós. Meðal þvermál lagnarinnar er reyndar meira en 200mm eins og haldið var í fyrstu eins og reikna má út á eftirfarandi hátt

$l \cdot p / lh$

$$\left(\frac{(12 * 300) + (180 * 225) + (300 * 200) + (2 * 150)}{494} \right) = 211,3mm$$

l er lengd pípu í metrum fyrir hvern hluta lagnarinnar

p er þvermál í mm (m.v. hvern hluta lagnar í þessu tilfalli)

lh er heildar lengd lagnar í metrum.

Hér er þó einungis verið að skoða vegið meðaltal lagnarinnar. Það segir hins vegar ekki alla söguna þar sem þrengingar eins og þær sem eru í lögninni eins og staðan er í dag hafa mjög mikið að segja. Þær hafa þau áhrif að viðnám í lögninni margfaldast við hverja þrengingu og hefur það þar með þær afleiðingar að þrýstingur fellur eftir því sem nær dregur vélinni.

Þegar þessar upplýsingar lágu fyrir fór ég ásamt leiðbeinanda mínum, Kristni Sigurjónssyni að einblýna á lögnina og fór okkur að gruna að þar gæti mögulega legið hluti þeirrar skýringar hvers vegna ekki næst upp nægur snúningur til að framleiðslan sé eins og vonast var til.

Þar sem ekki lágu fyrir neinar upplýsingar um rennsli og vatnshraða í lögninni lá beinast við að reyna að reikna það út frá þeim upplýsingum sem fyrir lágu um það afl sem rafallinn er að framleiða við núverandi aðstæður. Það reyni ég að gera með því að snúa út úr formúlu um vatnsafl í kafla 3 og nota þær einfaldanir sem þar eru í boði og gerum ráð fyrir að stuðullinn k sé 7. Þessi formúla fyrir vatnsafl er $P = k Q H$ þar sem P er afl í kW, k er eins og áður segir fasti sem er margfeldi af nýtninni, þyngdarhröðunninni og eðlisþyngd vatns. Q er rennsli í gegn um hverfilinn mælt í rúmmetrum á sekúndu og H er heildarfallhæð í metrum.

Aflið var mælt 5,98kW

Fastinn k er áætlaður 7

Heildarfallhæð samkvæmt þrýstimæli er 66m en ef ég miða við það þrýstifall sem þrýstimælirinn sýnir þegar vatni er hleypt á vélina er fallhæðin komin í 62 metra og þrýstifall samkvæmt því rúm 6% sem ég geri svo ráð fyrir við útreikningana.

Við höfum því: $5,98 = 7 \times Q \times 62$

Með því að snúa út úr því fæst: $Q = \left(\frac{5,98}{62 \times 7}\right) = 0,0138 \text{ m}^3/\text{s}$

Þetta gerir því vatnsrennsli upp á 13,8 lítra á sekúndu.

Út frá þessari niðurstöðu má svo reikna vatnshraðann í metrum á sekúndu.

Það er gert með því að notast við formúlu til að reikna út þvermál aðrennslispípu, því þar sem meðal þvermál pípunnar liggur fyrir samkvæmt fyrri útreikningum er hægt að snúa út úr eftirfarandi formúlu til að gera sér hugmynd um vatnshraða í lögninni.

$$D_i = 1,128 \left(\frac{Q}{v}\right)^{1/2}$$

Við höfum að meðalgildi þvermáls aðrennslispípu D_i er 211,3mm

Rennslid Q er 0,014m³/s eða um 14 lítrar á sekúndu.

Ég sný því út úr formúlunni hér að ofan til að fá vatnshraðann.

$$v = \frac{1,128^2}{0,2113^2} * 0,0138 = 0,393 \text{ m/s}$$

Út frá fengnum niðurstöðum og gefnum forsendum er svo hægt að reikna áfram og skoða þrýstifall í lögninni.

Þrýstifall í pípunni má reikna út með eftirfarandi formúlu:

$$\Delta P = \frac{\left(\frac{L}{D_i}\right) (f \rho v^2)}{20000}$$

Þar sem :

ΔP er þrýstifallið í metrum vatnssúlu (mVs)

L er lengd pípunnar í metrum (m)

D_i er innra þvermál pípunnar í metrum (m)

v er vatnshraðinn í pípunni í metrum á sekúndu (m/s)

f er viðnámsstuðull án einingar

ρ er eðlisþyngd vatns í kílóum á rúmmetra (kg/m³)

Ef reikna á af nákvæmni út úr þessari formúlu þarf að reikna viðnámsstuðulinn f, sem er háður þvermáli pípunnar, vatnshraða og hrjúfleika pípunnar og seigju vatnsins. Þetta er nokkuð flókið. Til að fá sæmilaga hugmynd um þrýstifallið er sett fram eftirfarandi nálgun fyrir stuðulinn f:

f=0,015 fyrir pípuþvermál á bilinu 0,4-1,2m og vatnshraða á bilinu 1-3m/s

f=0,02 fyrir pípuþvermál á bilinu 0,2-0,4m og vatnshraða á bilinu 1-3m/s

Þá má í framhaldi endurrita fyrri formúluna sem nálgunarformúlu, sem verður til með því að setja inn fyrir eðlisþyngd vatns 1000kg/m³

$\Delta P = \left(\frac{L}{D_i}\right) * v^2$ Fyrir þvermál pípu á bilinu 0,4-1,2m og vantshraða á bilinu 1-3m/s

$\Delta P = \left(\frac{L}{1000}\right) * v^2$ Fyrir þvermál pípu á bilinu 0,2-0,4m og vatns hraða á bilinu 1-3m/s

Miðað við fengnar forsendur í mínu verkefni tek ég því seinni formúluna og sting mínum upplýsingum inn og fæst þá:

$$\Delta P = \left(\frac{\left(\frac{494}{0,2113}\right) * 0,393^2}{1000}\right) = 0,361mVs$$

Þetta er ekki í samræmi við það sem þrýstimælirinn á lögninni segir og samkvæmt þessum útreikningum er aðeins um 2% þrýstifall sem er vel innan við þau viðmið um að æskilegt sé að þrýstifall sé ekki meira en 5-6%. Þrýstimælirinn gefur mér hins vegar að þrýstifallið sé um 6% Til að fá nákvæmari niðurstöður þarf í þessu tilfalli að reikna vatns hraðann í hverjum hluta lagnarinnar fyrir sig. Það kemur til af því að vatns hraðinn er háður þvermáli lagnarinnar í öðru veldi og er því breytilegur eins og þvermál lagnarinnar sjálf. Þar.

Vatns hraði (v) í m/s í hverjum hluta langarinnar

Fasti*	Þvermál*	Q	V
1,272384	0,09	0,0138	0,19509888
1,272384	0,050625	0,0138	0,346842453
1,272384	0,04	0,0138	0,43897248
1,272384	0,0225	0,0138	0,78039552

Þrýstifall í hverjum hluta lagnar í metrum vatns súlu

Þvermál	Lengd	Vatns hraði ²	Fasti	ΔP mVs
0,3	12	0,39019776	1000	0,01560791
0,225	180	0,693684907	1000	0,554947925
0,2	300	0,87794496	1000	1,31691744
0,15	2	1,56079104	1000	0,020810547

Samkvæmt þessum útreikningum er heildar þrýstifallið í lögninni 1,91 mVs eða 2,89 %. Þá á eftir að taka tillit til annara þátta eins og samskeyta og beygja í vantslögninni.

Þar sem vatnsrennslið í útreikningunum hér að framan er reiknað út frá því afli sem rafalinn er að skila á þessum tímapunkti er ljóst að það eru ekki nógu áreiðanlegar tölur. Því var nauðsynlegt að reyna að mæla rennslið með einhverjum hætti til að fá gleggri mynd af því. Því ákvað ég að prófa að mæla hraða á afrennsli með flothylkismælingu. Sú mæling er ekki mjög nákvæm í eðli sínu. Hún fer þannig fram að strengdar eru línur yfir vatnsfallið með jöfnu millibili sem eru notaðar sem marklínur. Æskilegt er að vatnsfallið sem á að mæla sé á að giska jafn djúpt og jafn breitt á þeim stað sem á að mæla þannig að rennsli sé sem jafnast. Mæla þarf dýpt og breidd vatnsins hjá fyrri marklínunni til að finna út rúmmál. Síðan er flothylki látið fljóta eftir vatnsfallinu og mælt hversu langan tíma það tekur fyrir hylkið að fljóta frá fyrri marklínunni til þeirrar seinni. Þannig er yfirborðshraðinn fundinn. Þetta gerði ég í frárennisskurðinum á Eyrarlandi með því að finna stað þar sem hann var jafn djúpur og jafn breiður. Það reyndist ekki sérstaklega erfitt þar sem hann er vélmokaður og frekar mjór eða um 50cm breiður.

Niðurstaða þeirrar mælingar gaf mér svo þær niðurstöður að yfirborðshraðinn á vatninu væri 0,5682 m/s. Sú tala er svo margfölduð með 0,75, en almennt er talið að meðalhraði vatns sé 75% af yfirborðshraða.¹³

Þetta gefur því $v = 0,5682 * 0,75 = 0,42615 \text{ m/s}$

Þessi niðurstaða er ekki langt frá þeim tölum sem fengnar voru í fyrri útreikningum með því að notast við aflið en þó er vatnshraðinn töluvert meiri en gert hafði verið ráð fyrir áður. Með því að margfalda svo þessa nýju útkomu á vatnshraðanum með flatarmáli þess vatnsfarvegar sem mældur var til að fá vatnshraðann fæst ný tala fyrir magn vatns í rúmmetrum.

$$Q = A * v = 0,05175 * 0,42615 = 0,022 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vatnsmagnið sem rennur í gegn um virkjunina er því augljóslega töluvert meira en þær tölur sem ég fékk út með því að snúa út úr formúlunum og miða við það afl sem fékkst frá rafalanum, en hafa ber í huga að þegar þessi mæling á vatnshraða var gerð með flothylkismælingu var framleiðsla rafalanns kominn í 6,95kW og því þær forsendur sem áður var gengið út frá við útreikningana ekki

¹³ Arnar Pálsson, Kristinn Steinn Traustason, 2000. Smávirkjanir, Lokaverkefni í rafiðnfræði Tækniskóli Íslands.

lengur fyrir hendi. Að auki er varasamt að gera ráð fyrir því að hægt sé að ganga út frá því að stuðullinn k eigi við í því tilfalli. Það er eins og áður hefur komið fram stuðull á heildar nýtni kerfisins og þar með talið rafalls en nýtni rafalans á Eyrarlandi er mikið lægri í þessu tilfalli.

Það er því ekki úr vegi að skoða hvert sé raunverulegt vatnsafl til ráðstöfunar miðað við þessar upplýsingar um vatnsmagn og vatnshraða.

$$P = k * Q * H = 7 * 0,022 * 62 = 9,55kW$$

Það er því ljóst miðað við þessar tölur að mesta fánlega afl út úr þessari virkjun miðað við þessar niðurstöður er 9,55kW. Það er því töluvert minna en menn gerðu sér vonir um þegar óskastaðan var sú að hægt væri að fá þau 12,8kW sem rafalinn er gefinn upp fyrir.

Nú er ljóst að samspil ólíkra þátta í virkjuninni á Eyrarlandi er ekki að gefa okkur það afl sem til var ætlast og nýtingin á rafalanum er innan við 60% við núverandi aðstæður. Því mun ég hér, til að átta mig betur á hvað væri rétt val á búnaði miðað við fallhæð og afkastagetu rafalans, setja upp dæmi sem miðar við að rafallinn sé að framleiða 12,8kW eins og merkispjald hans gefur upp að rafallinn geti gert við um það bil 81% nýtni.

Til að byrja með get ég fengið út hvert vatnsmagnið þyrfti að vera við slíkar aðstæður. Það reikna ég með því að snúa út úr aflformúlunni eins og áður hefur verið gert.

$$\frac{12,8kW}{7 * 65m} = 0,028m^3/s$$

Þarna má sjá að til að ná þessu afli þyrfti vatnsmagn að vera meira en við núverandi aðstæður.

Til að finna lögn við hæfi er best að prófa sig áfram með mismunandi stærðir út frá vatnsmagni og vatnshraða og svo þarf að stefna að því að þrýstifall sé á bilinu 5-6%

Miðað við að lögnin sé 300mm að innra þvermáli væri útkoman eftirfarandi

$$v = \frac{1,128^2}{0,3^2} * 0,028 = 0,396 m/s$$

Þetta er nánast nákvæmlega sami vatnshraði og áður og því þjónar ekki svo miklum tilgangi að stækka lögnina miðað við núverandi fallhæð. Þrýstifallið eykst

nefnilega í hlutfalli við vatnshraðann í öðru veldi og því eykst þrýstifallið hratt með auknum vatnshraða.

Strax í október, þegar ljóst var að afköst vélanna voru ekki eins og menn hefðu óskað sér, eftir stækkun á bunustút, var farið að skoða hvað væri til ráða til að fá meiri orku úr virkjuninni. Leitað var ráða hjá aðilum sem hafa langa reynslu af smíði túrbína og þeirra á meðal var Eiður Jónsson frá Árteigi í Þingeyjasýslu. Hann kom á staðinn og skoðaði vélarnar. Undir hann var meðal annars borin sú kenning að kjör snúningshraði vatnstúrbínu væri helmingur þess snúningshraða sem túrbínan nær þegar hún er látin snúast án álags. Samkvæmt Eiði er þessi kenning góð og gild. Því var farið í það að aftengja rafalann frá túrbínunni og snúningshraði hennar mældur án álags með þar til gerðum snúningshraðamæli. Hann virkar þannig að merking er sett á öxulinn og innrauður nemi telur hringina þegar öxullinn snýst eftir þessari merkingu. Þetta var gert og mældist snúningshraðinn 1780 sn/min án álags. Það gefur svo að kjör snúningshraði vatnavélarinnar ætti að vera um 880-900 snúningar á mínútu. Þannig má svo í framhaldinu finna út hvernig gíra þarf vatnsvélina niður á móti rafalanum þannig að hún snúist á kjör snúningshraða og rafalinn snúist á um 1500 sn/mín. Þá var farið út í það að smíða reimdriðinn búnað sem nær fram þessum skilyrðum í hlutföllunum 1:1,7.

$$1500 \cong 890 \times 1,7$$

Þegar lokið var við að smíða þennan búnað var samstæðan tengd á ný og vélarnar prófaðar. Þetta var í byrjun nóvember og á þeim tíma var búið að leggja kapal í jörð frá stövarhúsi og niður í íbúðarhúsið og því í raun hægt að fara að nýta orkuna. Þá var því brugðið á það ráð vegna þess að hve orkan var óstöðug, þ.e mikið flökt á tíðninni, að framleiðslan var einungis tengd við hitatúbu sem sér um að kynda upp íbúðarhúsið á Eyrarlandi. Íbúðarhúsið hafði nýlega verið gert upp og hafði meðal annars verið sett upp gólfhitakerfi með heitu vatni. Hitatúban er búin þremur 12kW elementum sem ljóst var að væru allt of stór ef tengja ætti þau við virkjunina. Því var einu elementinu skipt út fyrir 9 kW element sem var svo tengt við virkjunina. Til að taka við umfram orku var síðan útbúin einföld stýring með tveimur segulliðum og rafliða sem stýrir því að þegar hitatúban er búin að hita vatn upp í fyrirfram ákveðið hitastig, sem oft er á bilinu 60 til 70 gráður, færist álagið yfir á 9kW hitablásara sem er staðsettur í vélaskemmu við hliðina á íbúðarhúsinu. Þannig er álagið sem virkjunin framleiðir fyrir flutt til skiptis frá hitatúbunni og yfir á hitablásarann eftir því hvort vatnið er nógu heitt.

Þar með var virkjunin farin að skila því að öll kynding á Eyrarlandi og notkun á heitu vatni var knúin með orku sem er framleidd á staðnum.

Í janúar fór ég svo í Eyrarland til að gera sömu mælingar og ég gerði í október og fá þannig samanburð á kerfinu eftir breytingar. Framkvæmd var samskonar spennu og straummæling og einnig var tíðnin skoðuð. Niðurstöðurnar voru eftirfarandi.

Spenna						
	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1-N	L2-N	L3-N
Max	374	376,8	382,1	223,2	215,9	220,5
Min	339	349,1	345,5	201,7	194,2	214,2
AVG	360	368	368	211	209	218,3
Hz	46,8					

Straumur			
	L1	L2	L3
Max	11,6	11,5	11,9
Min	10,7	10,9	11,5
AVG	11,15	11,2	11,7

Samkvæmt þessu þá er aflið;

$$360V * 11,15A * \sqrt{3} = 6952 \text{ eða } 6,95kW$$

Þar með fæst að þrátt fyrir þessar breytingar á vélasamstæðunni hefur aflið aðeins aukist um 1 kW sem er töluvert undir væntingum. Ef snúningshraðinn er skoðaður fæst ;

$$\frac{46,8 * 60}{2} \cong 1400 \text{ sn/mín}$$

Þarna er miðað við meðal tíðni á þeim tíma sem mælingin fór fram. Það er sem sagt greinilegt að enn vantar upp á til að rafalinn nái 1500 sn/mín og er því hægt að gefa sér að fínstilla þurfi hlutfallið á milli rafals og vatnsvélar betur til að ná því markmiði. Með því að reikna það út í hlutföllum er hægt að sjá hver stærðarhlutföllin þurfa að vera til að ná 1500 sn/mín við núverandi aðstæður.

$$\left(\frac{1,7}{1400}\right) = \left(\frac{X}{1500}\right) \rightarrow 1,7 * \left(\frac{1500}{1400}\right) \cong 1,85$$

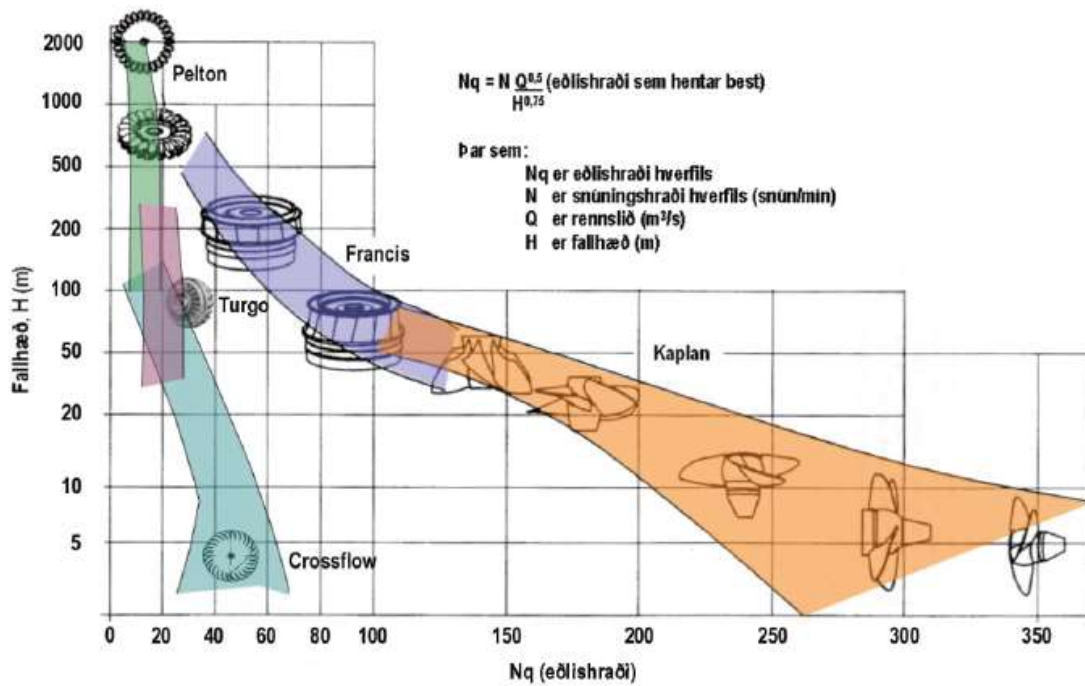
Það er því möguleiki á að framleiðslan væri stöðugri með því að hafa hlutfallið 1:1,85 og þá væri einnig auðveldara að stjórna snúningshraðanum og þar með tíðninni með bunustútnum en þar er hægt að stilla vatnsmagnið inn á vélina með því að minnka eða auka bununa með krana. Það er þó ekki víst hvort að vatnsmagnið inn á vélina sé nægilegt fyrir aðra breytingu á gírur, en það er aftur á móti frekar einföld aðgerð og ekki mjög kostnaðarsöm þannig að það er eitthvað sem mætti athuga. Eins og staðan er í dag fer vélin að ganga óreglulega ef reynt er að ná tíðninni upp með því að auka vatnsmagnið inn á vélina. Það gæti stafað af því að bunustútur sé vanstilltur þannig að ójafnt átak myndist á skóflurnar þegar vatnið lendir á þeim ef vatnsmagn fer upp fyrir ákveðið gildi. Eins eru tvær 90° beygjur á aðrennslispípunni á meters kafla rétt áður en vatnið kemur að vélinni. Það lítur þó ekki út fyrir að það sé að skila sér í mismunandi þrýstingi inn á vatnsvélina þar sem þrýstimælir er söðugur. Þrýstimælirinn er staðsettur á seinni beygjuni.



Ef eðlishraði hverfils miðað við aðstæður á Eyrarlandi er skoðaður má aftur á móti betur gera sér grein fyrir því hvar vandinn liggur. Eðlishraðann er háður vatnshæð, rennsli og snúningshraða og má finna með eftirfarandi formúlu.

$$Nq = \frac{N * Q^{0,5}}{H^{0,75}} = \frac{1500 * 0,022^{0,5}}{65^{0,75}} = 9,72$$

Út frá eftirfarandi grafi má svo finna út hvaða tengund hverfils hentar best eðlishraðanum.



14

Samkvæmt þessu er ekki annað að sjá en Pelton hverfill henti illa við þær aðstæður sem eru fyrir hendi á Eyrarlandi. Crossflow og Turgo eru líklegri til vera hentugir hverflar við núverandi aðstæður og þá sér í lagi með tilliti til fallhæðar. Með vatnsvél sem hefði kjör snúningshraða með álagi, 750 sn/mín væri hægt að hafa gírun á móti rafala 1:2 sem gæfi þá 1500 sn/mín á rafala. Það eru því allar líkur á því að núverandi vatnsvél henti ekki aðstæðum og að ekki náist ásættanleg niðurstaða meðan hún er notuð.

¹⁴ Mannvit, 2010. Litlar vatnsaflsvirkjanir bls 29

8. Kostnaður

Hér verður farið gróflega yfir þann kostnað sem til hefur fallið við byggingu virkjunarinnar á Eyrarlandi. Erfitt er að reikna út endanlegan kostnað á verkið, m.a. Vegna vinnuframlags Þorvarðar og annarra fjölskyldumeðlima við bygginguna. Það liggja þó fyrir helstu tölur varðandi þá vinnu og þær vélar og efni sem hefur verið aðkeypt. Þessar tölur má sjá í töflu hér að neðan.

Kostnaðarhluti	verð án vsk
Vatnsvél, rafali, gámur og 200mm rör í vatnsveg	1.100.000
Bygging stíflu, vinna og efni	1.246.000
Vinna við stöðvarhús og suðu á vatnsrörum og tengingar	835.000
Jarðvinna við stíflu	300.000
Kapall í heimtaug frá stöðvarhúsi	150.000
Raflagnabúnaður í töflu, element	35.000
Önnur vélavinna	560.000
225mm plaströr	350.000
Kostnaður samtals	4.576.000
Styrkir	
Umhverfisstyrkur frá sveitarfélagi 2012	500.000
Umhverfisstyrkur frá sveitarfélagi 2013	500.000
Styrkur úr framleiðnisjóði landbúnaðarins	2.000.000
Styrkir samtals	3.000.000
Mismunur á kostnaði og styrkjum	-1.576.000

Eins og sjá má er heildar kostnaður við verkið tæpar 4,6 milljónir króna, en þá er aðeins verið að skoða þá upphæð sem greidd hefur verið fyrir vinnu og efni. Heildarkostnaðurinn er talsvert hærri þar sem Þorvarður hefur til að mynda ekki skrásett allar sínar vinnustundir á verkið. Eru þær ófáar og mjög varlega áætlað ekki færri en 500. Eins hafa aðrir fjöldkyldumeðlimir og ættingjar lagt hönd á plóg. Verkefni sem þessi eru styrkhæf og víða hægt að sækja styrki. Eins og fram kemur hefur Þorvarður fengið styrki frá Fljótaldalshrepp úr umhverfissjóði. Sá sjóður styrkir verkefni í samfélaginu sem leiða til hagsbóta fyrir íbúa sveitarfélagsins. Þar er möguleiki að Þorvarður geti sótt fleiri styrki, meðal annars til endurbóta á virkjuninni. Mest munar þó um styrk úr Framleiðnisjóði landbúnaðarins, sem styrkir verkefni sem þessi og er hámarksstyrkur sem hægt

er að fá þaðan 2 milljónir. Sá kostnaður sem þorvarður greiðir úr eigin vasa þegar allt hefur verið gert upp er þá rúm ein og hálf milljón króna.

8.1 Rafmagnsnotkun á Eyrarlandi

Hér ætla ég að fara aðeins ofan í sumana á rafmagnsnotkun á Eyrarlandi eins og hún hefur verið síðustu ár ásamt raforkukostnaði. Eyrarland í Fljótsdal er staðsett á köldu svæði, þ.e, ekki er aðgangur að hitaveitu og hefur því verið kynt með rafmagni. Áður fyrr með rafmagnsofnum en þegar íbúðarhúsið var gert upp og stækkað voru settar hitalagnir í gólf og vatn hitað til kyndingar. Ef skoðuð er raforkunotkun á Eyrarlandi á tímabilinu apríl 2012 til apríl 2013 kemur eftirfarandi í ljós

Heildar notkun á tímabilinu er 64605 kwh.

Meðanotkun er 177 kwh á dag.

Verð á hverja kwh er í dag 9,42 kr¹⁵

Heildar orkukostaður er 608579 kr á þessu tímabili.

Það er því ljóst að til mikils er að vinna með að geta framleitt eigin raforku. Eins er fróðlegt að sjá hversu mikill hluti raforkunnar sem notuð er á Eyrarlandi er nýtt til kyndingar.

Eftir að virkjunin var tekin í notkun var fylgst var með raforkunotkun á Eyrarlandi á tímabilinu 31.nóvember til og með 31.desember eða í 31 dag. Þetta var frekar kalt tímabil og undir eðlilegum kringumstæðum ætti því raforkukostnaður að vera hár á þessu tímabili. Á þessum tíma var virkjunin í gangi og sá fyrir orku til kyndingar. Á þessu tímabili þurfti að spara vatn til virkjunarinnar þar sem yfirborð lónsins var farið að lækka og ekki rann yfir á yfirfallinu. Það tókst þó að forðast það að stöðva þyrfti framleiðslu með því að draga niður í vélunum og láta þær ganga fyrir minna vatnsafli. Hér má sjá niðurstöður er snúa að rafmagnsnotkun á Eyrarlandi á þessu tímabili.

Heildar raforkunotkun (aðkeypt orka) 2497 kWh

Meðalnotkun á dag (aðkeypt orka) 80,5 kWh

Raforkukostnaður á tímabilinu (aðkeypt orka) 23.522 kr

¹⁵ http://www.orkusetur.is/page/reiknival_raforkuverd_kwst (13.01.2014)

Ef þetta væri meðalnotkun á mánuði væri raforkukostnaður vegna aðkeyptrar orku kominn niður í 283 þúsund krónur á ári frá því að vera rúm 600 þúsund. Kostnaðurinn verður þó væntanlega mikið minni þar sem notkun í desember er að sjálfsögðu mikið hærrí en yfir sumarmánuðina og meðalnotkun á dag því eitthvað lægri. Það má gera ráð fyrir því að kyndingarkostnaður á köldum svæðum sé um 35-40% af heildar orkukostnaði á ári.¹⁶ Ef við gefum okkur að virkjunin sé að framleiða um 90 kWh á dag og reiknum með að hún gangi í 325 daga á ári væri virkjunin að gefa 29250 kWh á ári og þá þyrfti einungis að kaupa 35355 kWh. Í stað 68579 kWh, sé tekið mið að tímabilinu sem áður var nefnt. Rafmagnsreikningurinn mundi því lækka úr 608579 kr á ári niður í 333044 kr sem er sparnaður upp á 275535 kr á ári eða 45%. Virkjunin væri því 5,4 ár að skila til baka þeirri upphæð sem þorvarður hefur lagt af eigin fé í framkvæmdirnar þegar tekið hefur verið tillit til styrkja. Hér er augljóslega ekki tekið tillit til viðhalds eða frekari framkvæmda eins og þeirra lagfæringa sem brýnt er að fara í sem fyrst til að auka enn arðsemi virkjunarinnar.

¹⁶ http://www.gamma.is/media/skjol/GAMMA_Saestrengur.pdf (13.01.2014)

9. Lokaorð

Þó að virkjunin sé komin í gang og farin að skila eiganda sínum arði í formi lægri raforkukostnaðar, eru enn mörg vandamál óleyst og mörgum spurningum ósvarað. Það er enn lagnt í land með að virkjunin sé að skila því sem hún ætti að geta skilað. Það kemur til með að verða mikil áskorun að ná því afli sem rafalinn er gefinn upp fyrir þar sem svo virðist sem að við núverandi aðstæður sé vatnsaflið sem er til ráðstöfunar einungis 9,55kW. Það eru margir þættir í byggingu virkjunarinnar sem verka saman og takmarka vatnsaflið og má þar nefna mismunandi stærð á aðrennslisröri sem gerði mér einnig efrfitt fyrir varðandi alla útreikninga. Óþarfa þrýstifall sem hefði mátt sleppa við, er í raun búið til með því að hafa lögnina eins og hún er. Beygjurnar á aðrennslispípunni þar sem hún kemur inn í stövarhúsið mynda einnig auka þrýstifall og gott væri að losna við þær til að taka af allan vafa um það hvort að þær séu að trufla stöðugleika rennslis inn á vélina. Vatnsvélin sjálf er stórt spurningmerki þar sem hún er af Pelton gerð og miðað við virknisvið Pelton hverfla þá er ljóst að fallhæðin á Eyrarlandi er á mörkum þess að vera of lítil fyrir vélina. Cross Flow eða Turgo hverflar gætu hentað betur þar sem fallhæð á Eyrarlandi fellur betur að nýtnisviði þesskonar hverfla. Eins þarf að finna út hvar vandinn liggur varðandi það að ekki sé hægt að setja fullt vatnsafl inn á vélina án þess að hún fari að snúast óreglulega. Það vandamál gæti bæði verið tengt bunustút og skóflum hverfils. Venjan er sú þegar farið er út í virkjanir af þessu tagi, að gerðar eru ransóknir á virkjanlegu vatnsmagni og vatnshraða, auk þess sem fallhæð er könnuð og síðan smíðuð túrbína með hliðsjón af þeim niðurstöðum. Það er því mikið happdrætti að fara út í byggingu virkjunar eins og hér var gert, þegar ekki liggur ljóst fyrir hvort vélin henti aðstæðum. Það getur eins og dæmin sanna, skapað ótal vandamál sem eru erfið og flókin úrlausnar, eins og ég hef rekið mig á í þessu verkefni. Ég hef á meðan þetta verkefni var í vinnslu kynnt mér sambærilegar framkvæmdir þar sem meiri vinna var lögð í undirbúning. Þar voru menn einnig að lenda í sambærilegum vandamálum hvað það varðar að vélar voru ekki að skila ásættanlegri niðurstöðu. Þar var það aftur á móti vandamál framleiðandans að vélin stóðst ekki væntingar. Þetta getur því verið flókið samspil, jafnvel þó að forvinnan sé góð. Það má því segja að menn séu að auka áhættuna á lakari niðurstöðu óþarflega mikið með því að renna blint í sjóinn eins og hér var gert.

Fleira þarf að skoða sem ekki gafst tími til að fara nánar í sökum þess að tíminn var á þrotum. Það þarf að skoða stillingu á segulmögnunarstraumi rafalsins eins og komið var inn á, með það að markmiði að halda spennu stöðugri. Tryggja þarf

að álagið sem tekur við þegar ekki er verið að hita vatn til kyndingar, sé virkt öllum stundum og taki við skilyrðislaust. Ef eitthvað fer úrskeiðis hvað það varðar er rafalinn í hættu og getur brunnið yfir. Eins vantar alla sjálfvirkni í virkjunina og reksturinn er háður því að stöðugt sé fylgst með að allt sé í lagi. Það þyrfti að koma upp sjálfvirkni á bunuskerann til að loka fyrir vatnið og stöðva framleiðslu ef álag fellur út til að verja rafalann. Þessu er auðveldast að stjórna með tíðninni þannig að ef tíðnin fer upp fyrir ákveðin mörk að þá sé bunuskerinn settur sjálfvirkt af stað og loki fyrir bununa í hlutfalli við tíðnina og loki svo alveg ef tíðni hækkar verulega. Koma þarf upp nema fyrir vatnsstöðu í miðlunarlóni þannig að auðveldara sé að fylgjast með vatnsmagni í lóninu. Það gefur líka möguleika á að stýra vatnsmagni að vatnsvélinni eftir stöðunni í lóninu þannig að notast sé við minna vatn ef staðan í lóninu er lág. Það gæti komið í veg fyrir að stöðva þyrfti algjörlega framleiðslu sökum vatnsskorts. Eins og staðan er í dag er framleiðslan einungis nýtanleg til kyndingar og stórum hluta orkunnar sem til verður er einfaldlega sóað með því að breyta orkunni í hita á stað þar sem ekki er brýn þörf fyrir kyndingu. Það er því eðlilegt að menn velti fyrir sér hvort að ekki séu möguleikar til að nýta þá orku í eitthvað þarfara. Það er hinsvegar ekki svo einfalt. Ef skoðaður er sá möguleiki að selja umfram orkuna út á netið eru mörg ljón í veginum. Í fyrsta lagi þarf framleiðslan að verða stöðug 50Hz spenna til að það sé möguleiki. Rarik getur ekki tekið á móti framleiðslunni eins og staðan er núna og er töluvert langt í land til að það markmið náist. Í öðru lagi er framleiðslan allt of lítil til að einhver ávinningur gæti orðið af slíku. Innmötunargjöld eru 369347 kr fyrir samfasa rafala með ástimplað afl undir 200kW¹⁷ og þar sem virkjunin er ekki að skila sparnaði sem nemur þessari upphæð á ári er það alls ekki í sjónmáli að þetta sé eitthvað sem menn þurfi að velta fyrir sér að svo búnu. Það er því nærtækara að einbeita sér að því að hámarka nýtingu á því vatnsafli sem er fyrir hendi, með því að fara í þær breytingar og úrbætur sem að nefndar eru hér á undan, með það að markmiði að gera framleiðsluna stöðugri og koma þar með tíðninni í 50Hz svo hægt sé að nota þá orku sem nú er eytt, til heimilissins og lækka þannig enn frekar hlutfall aðkeyptrar orku.

Það hefur verið afar krefjandi og áhugavert að fást við þetta verkefni með öllum sínum mörgu hindrunum og ófyrirséðu uppákomum. Það er merkilegt að sjá hve miklu svona örvirkjun getur breytt fyrir eiganda sinn, jafnvel þó að hún sé í eðli sínu mein gölluð. Það er því borðleggjandi dæmi fyrir þá sem hafa aðgang að vatnsafli og möguleika til að ráðast í virkjanaframkvæmdir. Undirbúningurinn er

¹⁷ <http://rarik.is/skjolrarik?ccs=754> (14.01.2014)

aftur á móti gulls í gildi og gerir það að verkum að virkjunin borgar sig upp hraðar en ef farið er af stað án fullnægjandi undirbúnings eins og hér var gert. Það getur líka farið illa með fjárhagslegu hliðina ef kaupa þarf sérfræðiaðstoð til að laga það sem afvega hefur farið, þar sem það getur jafnvel krafist enn meiri rannsóknarvinnu en hefði þurft að vinna í upphafi og jafnvel haft í för með sér kostnaðarsama útskiptingu á búnaði sem rangt var valinn. Það er einnig ljóst að með að sækja sér þá styrki sem eru í boði og góðri undirbúningsvinnu, gæti svona framkvæmd borgað sig upp á mjög skömmum tíma, og í þessu tilviki hefði sennilega verið hægt að stytta þann tíma niður í þrjú ár að minnsta kosti.

Það jákvæðasta við þetta verkefni er að virkjunin er komin í gang og er farin að spara eiganda sínum umtalsverða fjármuni og með það er eigandinn himinlifandi, jafnvel þótt mikið verk sé óunnið.