

Vatnsaflsvirkjanir

Viðauki 01 af 92 við skýrslu Orkustofnunar OS-2015/02

Virkjunarkostir til umfjöllunar í 3. áfanga rammaáætlunar

Vatnsaflsvirkjanir

Viðauki 01 af 92 við skýrslu Orkustofnunar OS-2015/02

Virkjunarkostir til umfjöllunar í 3. áfanga rammaáætlunar



EFNISYFIRLIT

1	Vatnsorkuver	6
2	Nýting vatnsorku	6
3	Vatnsaflsvirkjanir á Íslandi	8
4	Rennsli.....	8
5	Ísmyndun.....	10
6	Aurframburður	10
7	Nýtingartími	10
8	Eiginleikar vatnsaflsvirkjana.....	10
9	Dæmi um vatnsaflsvirkjanir	12
9.1	Ljósafossstöð.....	13
9.2	Írafossstöð	14
9.3	Vatnsfellsstöð.....	15
9.4	Hrauneyjafossstöð.....	16
9.5	Fljótisdalsstöð.....	17
10	Nauðsynlegar rannsóknir.....	17
11	Heimildaskrá	18
	Mynd 2-1: Nýtanleg fallhæð fyrir Pelton hverfil.	7
	Mynd 2-2: Nýtanleg fallhæð fyrir Francis hverfil.....	8
	Mynd 4-1: Langæislína.	9
	Mynd 8-1: Heildar raforkuframleiðsla árið 2012 (Raforkuspá 2013 – 2015).....	11
	Mynd 8-2: Notkunarmynstur innan sólarhrings (Steinar Friðgeirsson, 2002).	11
	Mynd 9.1-1: Ljósafossstöð 16 MW (Landsvirkjun.is, 2014).	13
	Mynd 9.2-2: Írafossstöð 48 MW (Landsvirkjun.is, 2014).	14
	Mynd 9.3-3: Vatnsfellsstöð 90 MW (Landsvirkjun.is, 2014).	15
	Mynd 9.4-4: Hrauneyjafossstöð 210 MW (Landsvirkjun.is, 2014).	16
	Mynd 9.5-5: Fljótisdalsstöð 690 MW (Landsvirkjun.is, 2014).....	17

1 VATNSORKUVER

Í þessum kafla er fjallað um almennar grundvallarupplýsingar um vatnsaflsvirkjanir og farið yfir hvaða upplýsingar það eru sem þurfa að liggja til grundvallar virkjunarkostum á sviði vatnsorku til þess að hægt sé að leggja slíka valkosti fyrir verkefnisstjórn þriðja áfanga rammaáætlunar.

Við mat Orkustofnunar á gagnakröfum skv. reglugerð um virkjunarkosti í verndar- og orkunýtingaráætlun skal einskorða matið við gagnakröfur sem að öllu jöfnu þarf fyrir umhverfismat áætlana. Það er svo mat hvers aðila fyrir sig sem óskar eftir mati á virkjunarkostinum hvort viðbótarupplýsingar verða lagðar fram eða ekki. Í tilfalli vatnsaflsvirkjana er farið fram á upplýsingar um uppistöðulón, miðlunarrými, fallhæð og lengdir og staðsetningu á stíflum, skurðum og pípum eða göngum eftir því sem við á.

Í kaflanum er einnig að finna almennar upplýsingar um nýtingu vatnsorku, vatnsaflsvirkjanir á Íslandi, dæmi um vatnsaflsvirkjanir af mismunandi stærðum svo eitthvað sé nefnt. Í kafla 6.5 er fjallað um forsendur Orkustofnunar fyrir umfjöllun virkjunarkosta í 3. áfanga rammaáætlunar. Í beinu framhaldi af skilgreiningu á forsendum koma síðan sérstakir undirkaflar fyrir hvern virkjunarkost fyrir sig.

2 NÝTING VATNSORKU

Á ofanverðri nítjándu öld þróuðust margvíslegar leiðir til hagnýtingar á rafmagni. Á heimssýningunni í París árið 1881 kynnti Thomas A. Edison glóperuna og fyrsta rafstöðin til almenningsnota tók til starfa í London árið 1882. Þessi rafstöð var knúin gufu og var byggð að frumkvæði Edisons.

Í vatnsaflsvirkjunum er hreyfiorka vatnsfalls beisluð og henni breytt í raforku. Útfærslur geta verið mismunandi en í aðalatriðum er um nokkra sameiginlega grunnþætti að ræða. Þessir þættir eru til dæmis stífla til að hækka vatnsborð og mynda inntaks- eða miðlunarlón og mannvirki til þess að hleypa umfram vatni framhá virkjuninni. Þessi mannvirki geta verið yfirföll, botnrásir eða lokuvirki. Inntaksmannvirki fyrir vatn að virkjuninni eru gjarnan í stíflunni og er hlutverk þeirra að beina vatninu að aðrennslisvirkjum. Aðrennslisvirkin geta síðan verið skurðir, pípur eða göng. Aðrennslisvirkin flytja vatnið að þrýstivatnspípu sem liggur að snigli vatnsvélar í stöðvarhúsinu. Vélar geta verið fleiri en ein og hefur hver um sig einn hverfil eða vatnshjól sem vatnsstraumurinn snýr. Hverfillinn er tengdur við rafala sem breytir fallorku vatnsins í raforku. Orkan sem framleidd er í virkjunum er í réttu hlutfalli við nýtanlega fallhæð og vatnsmagnið sem streymir um hverfillinn.

Nýtanlegt vatnsafl (P) er mælt í vöttum og þá gjarnan tilgreint í kW (1000 vött) eða MW (1.000.000 vött). Afl virkjunar er margfeldi af fallhæðinni (h mælt í metrum m) og rennslinu (Q mælt í rúmmetrum á sekúndu m^3/s), þyngdarhröðuninni g (9,81 metrar á sekúndu í öðru veldi m/s^2), nýtni (η ávallt minni en 1) og eðlisþyngd vatns (ρ í kg/m^3). Þ.e.a.s.:

$$P = \eta \cdot g \cdot \rho \cdot Q \cdot h \text{ (m/s}^2 \cdot \text{kg/m}^3 \cdot \text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m} = \text{m} \cdot \text{kg/s}^3 = (\text{kg} \cdot \text{m/s}^2)/\text{s} = \text{J/s} = \text{W)}$$

Ástæða þess að nýtnin er minni en einn er sú að það verða töp á leið vatnsins í gegnum virkjunina. Töpin verða vegna þrýstifalls í vatnsvegum, nýtni hverfilsins er ekki 100%, það verða töp í yfirfærslu á orku frá hverfli til rafala og síðan einnig á milli rafala og spenna.

Orkan sem virkjun framleiðir á ársgrundvelli er síðan reiknuð sem margfeldi af uppsettu afli virkjunarinnar og tíma. Í venjulegu ári (ekki hlaupári) eru 8760 klukkustundir. Ef ætlaðar eru 260 stundir á ári í viðhald, verður orkuframleiðsla virkjunar á ársgrundvelli margfeldi af afli virkjunar og 8500 klukkustundum. 100 MW virkjun sem keyrð er á fullum afköstum í heilt ár getur því að hámarki framleitt 850 000 MWh/ári eða 850 GWh á ári. Framleiðsla vatnsaflsvirkjana á Íslandi

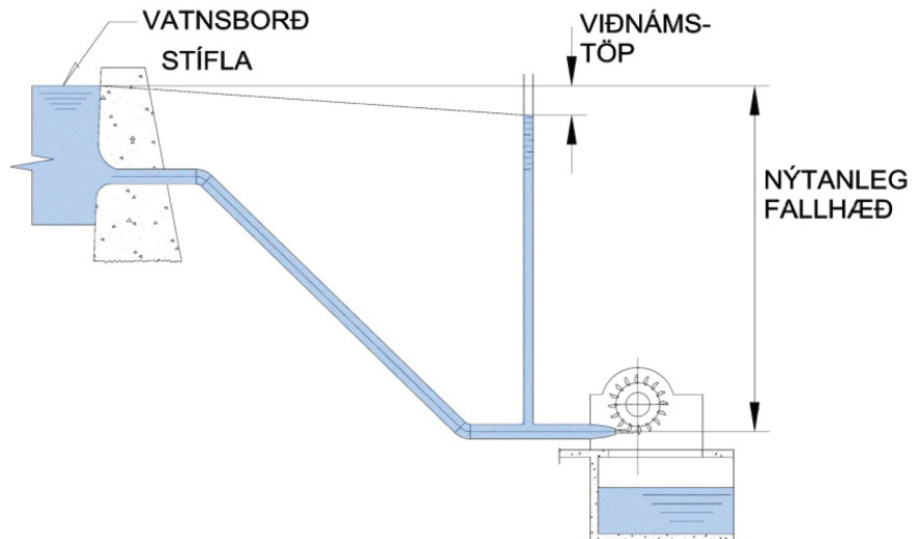
takmarkast ekki aðeins af mögulegu viðhaldi heldu einnig veðurfari og eftirspurn eftir raforku (raforkunotkun). Þessi gerð virkjana er hentugust til þess að mæta sveiflum í eftirspurn og er framleiðsla þeirra stýrt til þess að mæta notkun hverju sinni. Umfram afl í raforkukerfinu kemur því að mestu fram sem vatnsafl og er nýtingartími á vatnsaflsvirkjunum á Íslandi sem eru 10 MW eða stærri þar af leiðandi aðeins um 5800 klukkustundir á ári eða tæplega 66%.

Hægt er að virkja vatnsföll án miðlunarlóna sem safnað er vatni í þegar rennslið er meira en virkjað rennsli. Þá er yfirleitt aðeins um lítið inntakslón að ræða með yfirfalli fyrir umfram vatn, slíkar virkjanir kallast rennslisvirkjanir. Rennslisvirkjanir er ekki hægt að nýta til að framleiða orku eftir breytilegum þörfum þar sem ekki er hægt að treysta því að framleiðsla virkjunarinnar verði meiri en sem nemur lágmarksrennsli í farvegi.

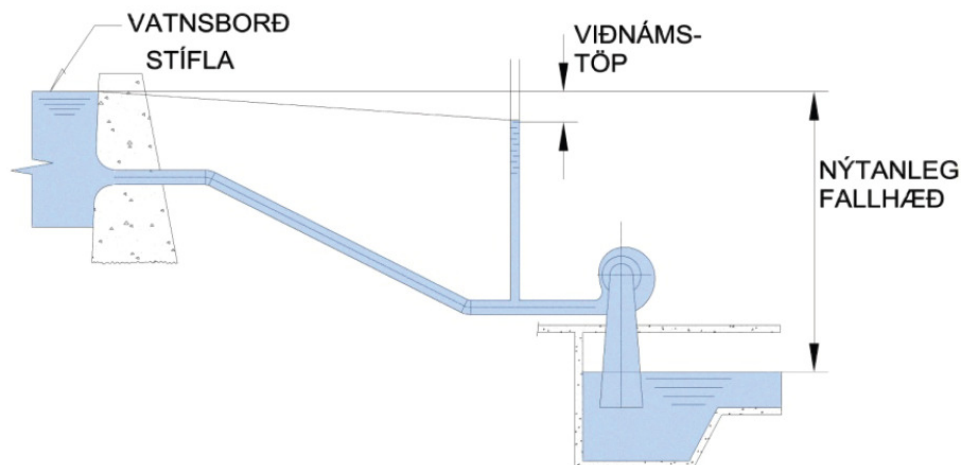
Ekki er endilega hægt að keyra vatnsaflsvirkjun á fullu afli allt árið þar sem miðlun verður aldrei 100% og rennslið er mismunandi eftir árstíðum og veðurfari.

Þrjár helstu tegundir hverfla í virkjunum eru Francis, Pelton og Kaplan. Kaplan hverflar henta best þar sem rennsli er mikið og fallhæð er lítil (LV-2012-014), hægt er að snúa blöðunum á hverflunum, þannig að hverfillinn ræður við mikla breidd í rennsli, frá mjög litlu rennsli yfir í mikið rennsli.

Fallhæðin sem nýtist er mismunandi eftir gerð hverfilsins, eins og til dæmis þar sem gagnspyrnuhverfill (Francis – Mynd 2-2) eða spyrnuhverfill (Pelton – Mynd 2-1) eru annars vegar (Mannvit verkfræðistofa, 2010).



Mynd 2-1: Nýtanleg fallhæð fyrir Pelton hverfil.



Mynd 2-2: Nýtanleg fallhæð fyrir Francis hverfil.

Staðsetning virkjunar getur haft veruleg áhrif á hagkvæmni, þar eru áhrifamestu þættirnir stærð og lögun vatnasviðs, vatnsmagn og breytileiki í rennsli, lega árinna og virkjanleg fallhæð. Jarðlög á svæðinu og aðgengi að byggingarefnum, ásamt tengingu við vegakerfi og flutningskerfi raforku hafa einnig áhrif.

3 VATNSAFLSVIRKJANIR Á ÍSLANDI

Í upphafi tuttugustu aldar hefst rafvæðing á Íslandi. Fyrsta vatnsaflsstöðin var reist í Hafnarfirði árið 1904. Vélin var nýtt til rafvæðingar á trésmíðaverkstæði eigandans (Helgi M. Sigurðsson, 2002). Fyrsta bæjarfélagið sem fékk rafveitu þó að það væri ekki nema að hluta var Hafnarfjörður, en næsta bæjarfélag var Eskifjörður er Ljósá var virkjuð árið 1911. Elliðaárvirkjun var síðan fyrsta meiri háttar virkjun landsins 3,2 MW en hún var byggð á árunum 1919 til 1921.

Annar kafli hefst í sögu rafvæðingar þegar hafnar eru framkvæmdir við virkjanir í Soginu og í Laxárdal, þá eru reistar virkjanir allt að 48 MW að stærð (Írafoss), auk nokkurra smærri virkjana. Þriðji kafliinn í sögu raforkuframleiðslu hófst síðan árið 1965, þegar tími stórvirkjana og orkuvinnslu til stóriðju gekk í garð og stendur sá tími enn. Landsvirkjun var stofnuð til að reisa og reka þessar virkjanir. Fyrsta stóra virkjunin Búrfellsvirkjun var gangsett árið 1972 og var uppsett afl í upphafi 210 MW en hefur síðan verið aukið upp í 270 MW. Í kjölfarið komu Sigölduvirkjun, Hrauneyjafossvirkjun, Blönduvirkjun, Sultartangavirkjun, Vatnsfellsvirkjun, Fljótisdalsstöð og síðan Búðarhálsstöð.

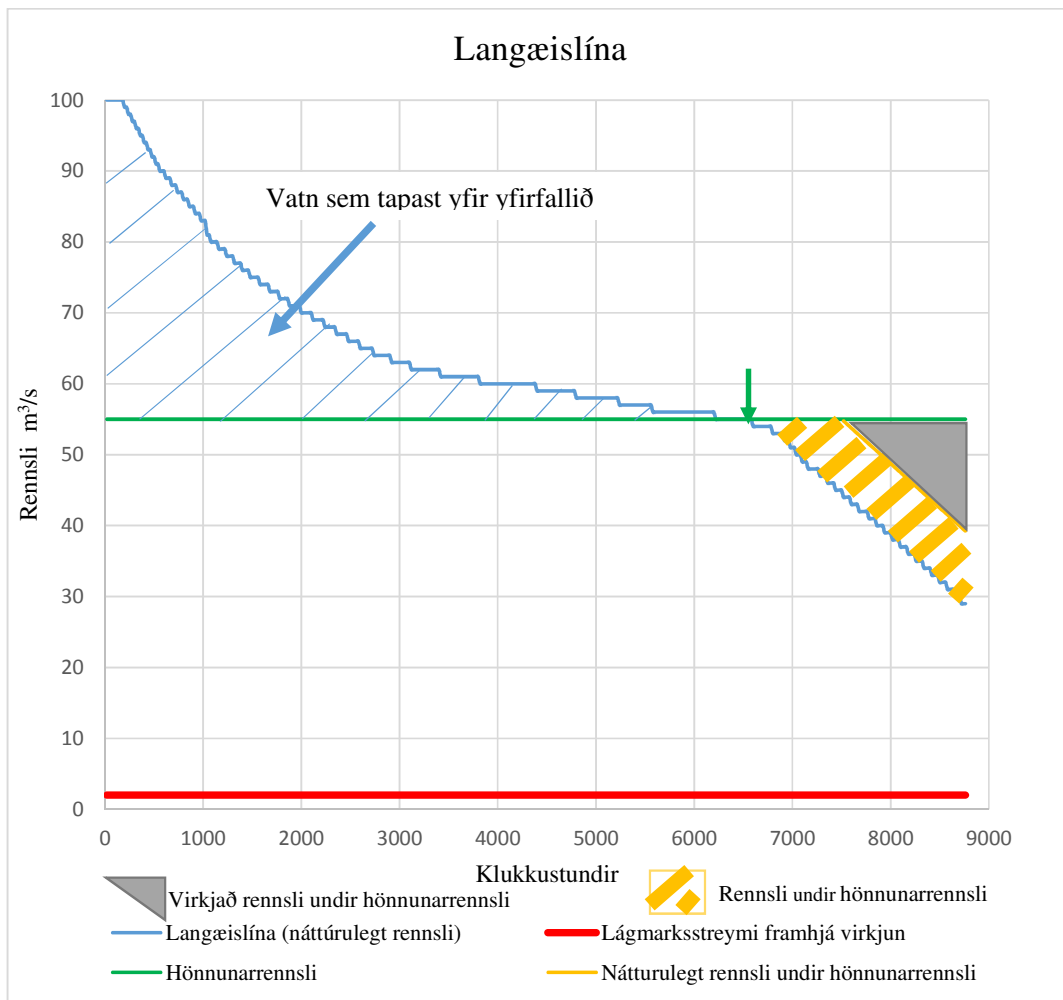
4 RENNSLI

Þekking á virkjanlegu rennsli er mjög misjöfn milli staða, til eru reglulegar vatnamælingar frá um það bil helmingi af flatarmáli landsins. Gerð hafa verið rennislíkön til uppfyllingar á götöttum rennislíróðum og til áætlunar um rennsli þar sem mælingar skortir. Vatnshæðarmælar hafa verið staðsettir að mestu leyti með tilliti til þess að síðar gæti komið til greina að virkja vatnsföllin og gerir það ástandið betra en ella.

Í rammaáætlun getur verið nauðsynlegt að bera saman upplýsingar frá stöðum þar sem vatnamælingar hafa verið stundaðar í áratugi annars vegar og hins vegar á stöðum þar sem nánast engar mælingar hafa verið framkvæmdar. Til þess að gera slíkan samanburð á áætlunarstigi er gagnlegt að skoða tíðnidreifingu rennslis og þá rennisliseiginleika sem telja má líklegt að eigi við

í hverju tilfalli. Þessi tíðnidreifing er sett fram sem svokölluð langæislína. Út frá henni má gera sér grein fyrir hve mikinn hluta af náttúrulegu rennsli sé hægt að nýta. Langæislína segir til um hvaða líkur eru á að fá ákveðið rennsli eða meira. Um er að ræða línurit sem sýnir rennslið sem hlutfall af meðalrennsli á lóðrétta ásnum en á lárétta ásnum eru ýmist sýndar líkurnar á rennslinu í prósentum eða klukkustundum í ári (8760 klst).

Mynd 4-1 sýnir mögulega langæislínu (blá bogadregin lína), hönnunarrennsli (græn lárétt lína), lágmarksstreymi framhjá virkjun (rauð lárétt lína) og rennsli undir hönnunarrennsli (skástrikað gult svæði). Skástrikaða bláa svæðið fyrir ofan hönnunarrennslið og undir langæislínunni samsvarar því vatni sem tapast yfir yfirfallið þegar mest er í ánni. Rennslið undir láréttu rauðu línunni sýnir lágmarksstreymið framhjá virkjuninni í náttúrulegan farveg árinna. Fjólubláa svæðið svarar til þess vatns sem safnast í lónið þegar rennslið er mikið og síðan nýtt þegar rennslið í ánni minnkar. Grænitaði þríhyrningurinn lengst til hægri undir hönnunarrennslinu samsvarar þeim tíma sem virkjunin getur ekki tryggt fullt afl. Líklegast er að vatnsskortur verði yfir vetrarmánuðina þegar rennsli er minnst. Við val á hönnunarrennsli er mikilvægt að hafa þennan tíma sem stytan og þetta svæði sem minnst.



Mynd 4-1: Langæislína.

Við nýtingu vatnsafls hefur það sýnt sig að helstu umhverfisáhrif tengjast minnkuðu rennsli í farvegum neðan stíflu, myndun miðlunarlóna og vatnsborðssveiflum í lónum. Því er mikilvægt

að upplýsingar liggi fyrir um áætluð áhrif virkjunarframkvæmda á bæði náttúrulegt rennsli í farvegum og vatnsborð stöðuvatna og því er farið fram á að fjallað sé um vatnsborðssveiflur í mögulegum lónum, náttúrulegt rennsli, virkjað rennsli og framhjärennsli.

Ekki liggur ljóst fyrir hvað framtíðin kann að bera í skauti sér varðandi nýtingu á vindorku eða tengingu til Evrópu og því er erfitt að spá fyrir um hversu mikil þörf verður fyrir miðlunarrými í framtíðinni og stærri virkjanir en ella. Því er aflsetning virkjunarkosta Orkustofnunar aðeins til viðmiðunar um líklegt afl. Sama gildir um þörfina fyrir vatnsborðssveiflur í miðlunarlónum. Nákvæm aflsetning og ákvörðun um stærð miðlana á sér ekki stað fyrr en við hönnun virkjunar og mótast mögulega í umhverfismati, hvoru tveggja kann að aukast frá því sem tilgreint er á stigi rammaáætlunar.

5 ÍSMYNDUN

Við rekstur vatnsaflsvirkjana getur ísmyndun verið vandamál, sérstaklega þegar um rennslisvirkjanir er að ræða. Æskilegt er að gerð sé grein fyrir því ef viðkomandi virkjun mun líklega verða fyrir eða hafa áhrif á ísmyndun á svæðinu.

6 AURFRAMBURÐUR

Aurframburður getur verið vandamál við gerð vatnsaflsvirkjana í jökulám. Grófasti hluti aurburðarins sest til í lónum og getur takmarkað líftíma þeirra og valdið rekstrartruflunum. Fínasti hluti aurburðar er með stærsta virka yfirborðsflatarmálið ásamt tilheyrandi næringarefnum, hann skilar sér í gegnum virkjanir og er því ekki áhyggjuefni. Nauðsynlegt er að fjalla um aurburð fyrir virkjanakosti sem byggja á virkjun jökulvatna.

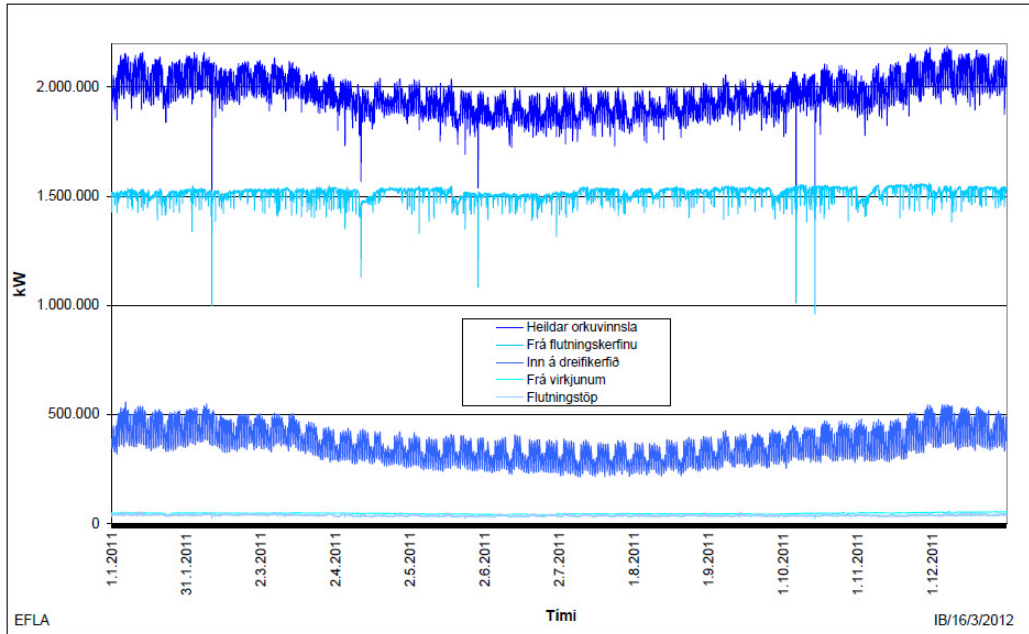
7 NÝTINGARTÍMI

Til þess að meta nýtingartíma virkjanakosta sem Orkustofnun leggur fram var reiknaður út meðal nýtingartími allra vatnsaflsvirkjana á Íslandi sem eru stærri en 10 MW, niðurstaða þessara útreikninga gefur meðal nýtingartíma upp á 5800 klukkustundir. Þessi nýtingartími gæti styst í vatnsaflsvirkjunum á næstu árum eða áratugum vegna breytinga á markaði fyrir raforku (vindorka – sæstrengur til Evrópu).

8 EIGINLEIKAR VATNSAFLSVIRKJANA

Kostir vatnsaflsvirkjana umfram marga aðra virkjunarkosti eru að lónin gefa færi á því að geyma orkuna og nýta hana eftir þörfum. Raforka er ekki vara sem auðvelt er að geyma á lager og því þarf á hverjum tíma að fella saman raforkunotkun og framleiðslu. Með tilkomu nýtingar á vindorku og eða tengingar við Evrópu verður aukin þörf fyrir að nýta geymslumöguleika orku í lónum til að stilla af toppa í eftirspurn og framboði af vindorku. Þetta þýðir einnig að skynsamlegt kann að vera að áætla aflsetningu vatnsaflsvirkjana framtíðar ríflega.

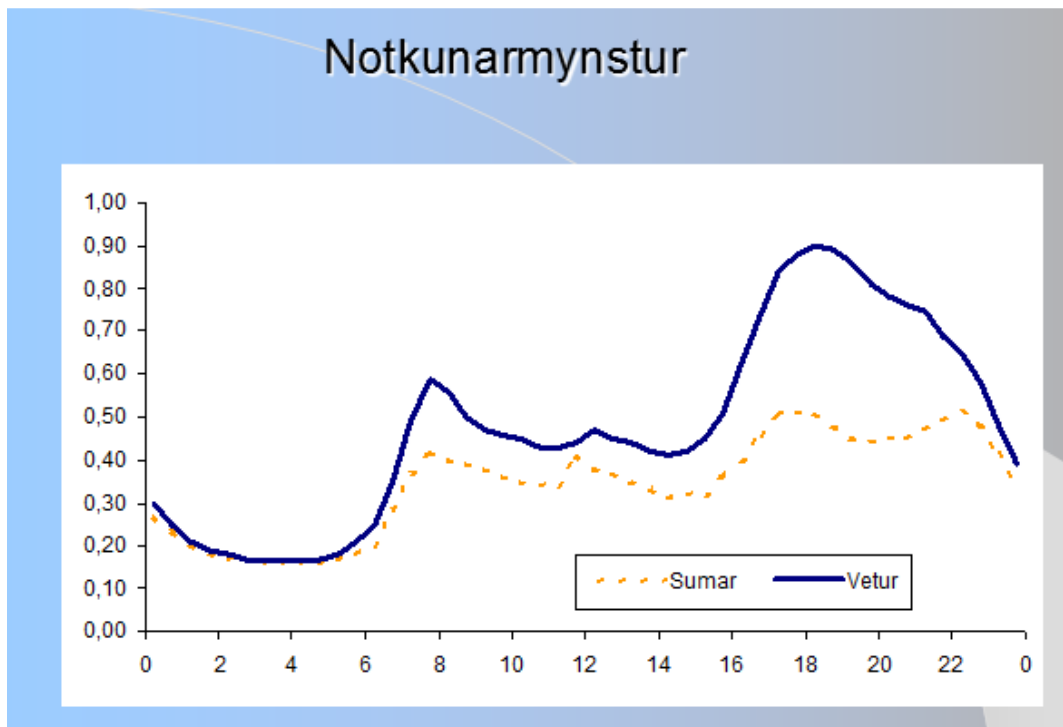
Með því að stýra rennsli inn á hverflana er auðveldlega hægt að stýra raforkuframleiðslu vatnsaflsvirkjana og því eru þær mest nýttar til þess að elta sveiflur í raforkunotkun sem bæði verða innan dagsins og innan ársins. Þetta er ekki jafn auðvelt í jarðhitavirkjunum, þar sem borholurnar þola ekki viðvarandi sveiflur í mótþrýstingi og gufustreymi.



Mynd 8-1: Heildar raforkuframleiðsla árið 2012 (Raforkuspá 2013 – 2015).

Eins og sjá má á Mynd 8-1 sem sýnir heildar raforkuframleiðslu árið 2012 sveiflast notkunin mikið á milli daga og ef grannt væri skoðað mætti sjá hvernig sveiflan er innan dagsins. Vatnsaflsvirkjanir gefa þann sveigjanleika sem þarf til þess að mæta þessum sveiflum.

Innan dagsins verður einnig mikil sveifla sem til dæmis getur litið út eins og notkunarmynstur innan sólarhrings frá RARIK sýnir.



Mynd 8-2: Notkunarmynstur innan sólarhrings (Steinar Friðgeirsson, 2002).

Þar sem Ísland er eyja, sem ekki er tengd við önnur raforkukerfi verður framleiðslu- og flutningsgeta á raforku að miðast við hæstu toppa í raforkunotkun. Ef einhverjir hlutar kerfissins ráða ekki við toppana er eina leiðin til þess að mæta skorti á framleiðslu eða flutningsgetu að grípa til skömmtnar. Af sömu ástæðum er erfitt að nýta afgangorku.

Uppistöðulón vatnsaflsvirkjana gera okkur kleift að mæta þessum sveiflum, nema þegar illa árar í vatnsbúskap landsmanna eins og t.d. gerðist veturinn 2013-14, eða ef flutningskerfið ræður ekki við að flytja nægilegt afl milli landshluta.

9 DÆMI UM VATNSAFLSVIRKJANIR

Vatnsaflsvirkjanir geta verið misjafnlega stórar og mannvirki þeim tengd eru því afar misjöfn að stærð. Nákvæm útfærsla á einstökum mannvirkjum og umfangi þeirra liggur ekki fyrir á áætlunarstigi. Þó er hægt að gefa grófa mynd af högun virkjunar hvað varðar stærð á lóni, skurði, göng og staðsetningu stöðvarhúss.

Í tengslum við leyfisveitingar vegna virkjana og umhverfismat framkvæmda geta umsagnaraðilar og leyfisveitendur á ýmsum stigum komið á framfæri sjónarmiðum um hvað ber að hafa í huga til að tryggja að sem minnst röskun verði á umhverfi og að sjónræn áhrif virkjanakosta verði sem minnst.

Nákvæm högun virkjunar liggur ekki fyrir á áætlanastigi svo að nákvæmar stærðir á stöðvarhúsum liggja ekki fyrir á því stigi. Hins vegar er hægt er að staðsetja stöðvarhúsið og öll stærri mannvirki gróflega.

Við útfærslu á einstökum virkjanakostum er því gróf staðsetning mannvirkja og framkvæmdasvæðis umhverfis þau, sýnd á korti en vegaf framkvæmdir og nákvæm útfærsla á einstökum þáttum á sér ekki stað fyrr en við endanlega hönnun virkjunar.

Til að setja stærð á uppsettu afli í samhengi við stærð sjálfra stöðvarhúsanna eru hér tekin fyrir nokkur vel þekkt dæmi um virkjanir af mismunandi stærðargráðu.

9.1 LJÓSAFOSSSTÖÐ



Mynd 9.1-1: Ljósafofossstöð 16 MW (Landsvirkjun.is, 2014).

Mynd 9.1-1 sýnir Ljósafofossstöð sem er með uppsett afl 16 MW sem samanstanda af þremur Francis hverflum og er orkuvinnslugeta virkjunarinnar 105 GWh á ári. Heildar fallhæð er 17 m og var virkjunin gangsett árið 1937. Flatarmál stöðvarhúss 1.728,3 m², byggingarár 1937.

9.2 ÍRAFOSSTÖÐ



Mynd 9.2-2: Írafossstöð 48 MW (Landsvirkjun.is, 2014).

Mynd 9.2-2 sýnir Írafossstöð sem er með uppsett afl 48 MW sem samanstanda af þremur Francis hverflum og er orkuvinnslugeta virkjunarinnar 236 GWh á ári. Heildar fallhæð er 38 m og var virkjunin gangsett árið 1953.

9.3 VATNSFELLSSTÖÐ



Mynd 9.3-3: Vatnsfellsstöð 90 MW (Landsvirkjun.is, 2014).

Mynd 9.3-3 sýnir Vatnsfellsstöð sem er með uppsett afl 90 MW sem samanstanda af tveimur Francis hverflum og er orkuvinnslugeta virkjunarinnar 490 GWh á ári. Heildar fallhæð er 65 m og var virkjunin gangsett árið 2001. Flatarmál stöðvarhúss 2.027 m², byggingarár 2002.

9.4 HRAUNEYJAFOSSTÖÐ



Mynd 9.4-4: Hrauneyjafosstöð 210 MW (Landsvirkjun.is, 2014).

Mynd 9.4-4 sýnir Hrauneyjafosstöð sem er með uppsett afl 210 MW sem samanstanda af þremur Francis hverflum og er orkuvinnslugeta virkjunarinnar 1.300 GWh á ári. Heildar fallhæð er 88 m og var virkjunin gangsett árið 1981. Flatarmál stöðvarhúss 6.496 m², byggingarár 1981.

9.5 FLJÓTSDALSSTÖÐ



Mynd 9.5-5: Fljótsdalsstöð 690 MW (Landsvirkjun.is, 2014).

Mynd 9.5-5 sýnir stærstu vatnsaflsvirkjun landsins sem er Fljótsdalsstöð með uppsett afl 690 MW sem samanstanda af sex Francis hverflum og er orkuvinnslugeta virkjunarinnar 4.800 GWh á ári. Heildar fallhæð er 599 m og var virkjunin gangsett árið 2007. Stöðvarhúsið er neðanjarðar.

10 NAUÐSYNLEGAR RANNSÓKNIR

Frumforsendur þess að hægt sé að skilgreina tilhögun vatnsaflsvirkjunar er að fyrir liggi mælingar á rennsli eða rennislíkan þess vatnsfalls sem ætlunin er að virkja og langæislína fyrir rennslið til þess að hægt sé að meta uppsett afl. Langæislínan segir til um hvaða líkur eru á að fá ákveðið rennsli.

Fyrir utan upplýsingar um rennsli og mögulega nýtanlega fallhæð er einnig er gott að fyrir liggi upplýsingar um aurframburð og ísmyndun en þó er mikilvægi þess misjafnt eftir eðli vatnsfallsins.

Vatnsföll á Íslandi eru að jafnaði flokkuð í þrjár gerðir. Lindár eiga sér glögg upptök og einkennast af jöfnu rennsli og hitastigi árið um kring. Sogið er gott dæmi um lindá sem á sér upptök í Þingvallavatni og blandast síðan jökulánni Hvíta og myndar Ölfusá. Annar flokkur vatnsfalla eru dragár, en þær myndast gjarnan úr mörgum lækjum sem koma saman og mynda á. Einkenni dragáa er að rennslið er háð veðurfari og eykst mjög í rigningu og leysingum. Síðasti flokkurinn er jökulár sem eiga upptök sín í jökli og er vatnsmagn þeirra mjög breytilegt eftir árstíma. Flestar stærri ár á Íslandi eru blanda af einhverjum af þessum þremur gerðum.

11 HEIMILDASKRÁ

Helgi M. Sigurðsson. (2002). *Vatnsaflsvirkjanir á Íslandi*. Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen. Reykjavík

Landsvirkjun.is. (2014). LV-2012-014.

Mannvit verkfræðistofa. Apríl (2010). *Litlar vatnsaflsvirkjanir*. Iðnaðar- og viðskiptaráðuneytið.

Raforkuspá. (2013-2050). *Endurreikningur á spá frá 2010 út frá nýjum gögnum og breyttum forsendum*

Steinar Friðgeirsson. (2002). *Undirbúningur markaðslíkans, Mælingar og uppgjör*. Framkvæmdastjóri tæknisviðs RARIK, Vorfundur Samorku á Akureyri 20.-31. maí 2002.