

Smávirkjanir og áhrif þeirra á lífríki í vatni

Halla Margrét Jóhannesdóttir

Magnús Jóhannsson



Verkefnið var styrkt af Orkusjóði

Veiðimálastofnun

Veiðinýting • Lífríki í ám og vötnum • Rannsóknir • Ráðgjöf



Forsíðumynd: Inntakslón við Múlavirkjun, Snæfellsnesi. Tekin 25. júlí 2007.

Myndataka: Sigurður Már Einarsson

Smávirkjanir og áhrif þeirra á lífríki í vatni

Halla Margrét Jóhannesdóttir
Magnús Jóhannsson

mars 2015

VMST/15014



Veidimálastofnun

Veidínýting • Lífríki í ám og vötnum • Rannsóknir • Ráðgjöf

Netf: veidimal@veidimal.is

Efnisyfirlit

Ágrip	1
1. Inngangur	2
1.1. Lagaumhverfi.....	2
1.2. Aukinn áhugi á smávirkjunum	2
1.3. Markmið verkefnisins.....	3
2. Aðferðir.....	3
3. Vatnsaflsvirkjanir og áhrif þeirra á lífríki, fiskstofna og veiðinýtingu	4
3.1. Gerðir vatnsaflsvirkjana.....	4
3.2. Litlar virkjanir eða stórar	6
3.3. Áhrif á lífríki í vatni.....	7
3.3.1. Miðlunar- og inntakslón	8
3.3.2. Stíflur eða hindranir.....	9
3.3.3. Rennslisbreytingar	12
3.3.4. Mótvægisaðgerðir	15
4. Smávirkjanir á Íslandi.....	21
4.1. Saga, dreifing og stærð	21
4.2. Dæmi um vistfræðileg áhrif.....	26
4.2.1 Elliðaárvirkjun.....	26
4.2.2 Múlavirkjun.....	27
4.2.3 Andakílsárvirkjun.....	29
5. Umræða	32
Þakkarorð.....	35
Heimildir.....	35

Ágrip

Samkvæmt skilgreiningu Evrópusambandsins (ESB) og evrópskum samtökum um smávirkjanir (ESHA) flokkast virkjanir sem hafa uppsett afl undir 10MW sem smávirkjanir. Áhugi á smávirkjunum fer vaxandi en umhverfisáhrif þeirra eru sjaldan metin til fullnustu áður en framkvæmdir hefjast. Hér er gerð grein fyrir þeim áhrifum sem smávirkjanir geta haft á lífríki í vatni auk þess að benda á mögulegar mótvægisáðgerðir. Jafnframt er gefin yfirsýn yfir smávirkjanir á Íslandi í dag, fjölda, stærð, dreifingu og tekin dæmi um þekkt vistfræðileg áhrif. Þekkt áhrif vatnsaflsvirkjana á vatnalíf eru m.a. breyting á samsetningu fiskstofna, breytingar á búsvæðum, skerðing á hrygningar- og uppeldissvæðum, breyting á vatnsgæðum, breyting á rennslisháttum og skerðing á samfellu áa. Umfang þessara áhrifa er mismunandi og fer fyrst og fremst eftir staðháttum og vatnafari á hverjum stað auk þess hvernig staðið er að hönnun virkjunar, rekstri hennar og mótvægisáðgerðum. Vinna við þetta verkefni hefur leitt í ljós hvernig smávirkjanir eru hornreka í íslenska kerfinu á margan hátt. Ekki er haldið utan um upplýsingar um þær á einum stað og við eftirgrennslan reyndist erfitt að fá nákvæmar upplýsingar um fjölda smávirkjana, uppsett afl þeirra og staðsetningu. Samkvæmt þeim upplýsingum sem liggja fyrir voru árið 2014 rétt um 250 smávirkjanir í rekstri á Íslandi. Meðal afl þeirra er 305 kW en um 84% eru með uppsett afl undir 200 kW. Þær smávirkjanir sem vitað er til að voru í rekstri árið 2014 deilast niður á 46 sveitarfélög, þar af eru 24 sveitarfélög með 1-3 smávirkjanir innanborðs. Í fimm sveitarfélögum eru fleiri en 10 smávirkjanir og í Þingeyjarsveit eru flestar eða 48 smávirkjanir. Þótt umhverfisáhrif smávirkjana hafi sjaldan verið metin geta þau í sumum tilfellum verið umtalsverð. Mikilvægt er að stefna að því að koma allri umgjörð í kring um smávirkjanir í betra horf.

1. Inngangur

Samkvæmt skilgreiningu Evrópusambandsins (ESB) og evrópskum samtökum um smávirkjanir (ESHA) flokkast virkjanir sem hafa uppsett afl undir 10MW sem smávirkjanir. Á Íslandi hafa litlar virkjanir verið flokkaðar í þrennt; 1) örvirkjanir með uppsett afl undir 100 kW, 2) smávirkjanir með uppsett afl á bilinu 100-300 kW og 3) litlar virkjanir með uppsett afl allt að 1000 kW (Iðnaðar og viðskiptaráðuneytið, 2010). Í þessu verkefni er fjallað um smávirkjanir skv. skilgreiningu ESB og ESHA með uppsett afl upp að 10 MW.

1.1. Lagaumhverfi

Samkvæmt raforkulögum þarf leyfi iðnaðarráðherra til að reisa og reka raforkuver. Þó þarf ekki slíkt leyfi vegna raforkuvera með uppsettu afli sem er undir 1 MW nema orka frá raforkuveri sé afhent inn á dreifikerfi dreifiveitna eða flutningskerfið. Samkvæmt lögum um mat á umhverfisáhrifum eru öll orkuver með uppsett afl frá 200 kW til 10 MW tilkynningaskyld til Skipulagsstofnunar. Orkuver undir 200 kW kunna að vera tilkynningaskyld til Skipulagsstofnunar ef þeim fylgja framkvæmdir sem falla undir aðra liði í viðaukum laganna. Skipulagsstofnun ákvarðar að fenginni umsögn leyfisveitenda og sérfræðistofnana hvort framkvæmdirnar skuli háðar mati á umhverfisáhrifum eða ekki. Samkvæmt skipulags- og byggingalögum eru skipulagsmál á höndum sveitarfélaga og þar af leiðandi þurfa allar framkvæmdir svo semstöðvarhús, stífla, lagnir, vegir og dæluhús, að vera í samræmi við aðal- og deiliskipulag. Framkvæmdir eru jafnframt háðar framkvæmda- og/eða byggingarleyfi sveitarstjórnar (Skipulagsstofnun, 2011). Í lögum um lax og silungsveiði eru ákvæði um að leita skuli til Fiskistofu um leyfi fyrir gerð mannvirkja eða efnistöku, sem haft geta áhrif á lífríki í ám og vötnum. Þar eru einnig ákvæði um umsögn sérfræðings á sviði veiðimála um hugsanleg áhrif framkvæmdar á lífríki í vatni og getur Fiskistofa krafist þess að framkvæmdaraðili láti gera líffræðilega úttekt fyrir framkvæmdir. Samkvæmt lögum um breytingu á vatnalögum frá 1923 eru framkvæmdir við að breyta vatnsfarvegi, víkka hann eða rétta, gera nýjan farveg eða önnur þau mannvirki í vatni eða við það tilkynningarskyldar til Orkustofnunar og eftir atvikum leyfisskyldar.

1.2. Aukinn áhugi á smávirkjunum

Vaxandi áhugi er á smávirkjunum og haustið 2009 fór af stað námskeiðið Orkubóndinn á vegum Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands og var það haldið aftur í árslok 2014. Námskeiðið

er ætlað áhugafólki um virkjun orku og fjallar m.a. um leiðir til að virkja ár og læki. Á árunum 2000–2014 var tilkynnt um 35 smávirkjanir til Skipulagsstofnunar og var uppsett afl þeirra á bilinu 40 kW til 6 MW (uppl. Skipulagsstofnun). Hluti þessara virkjana hefur ekki enn verið byggður. Þennan aukna áhuga má að hluta til rekja til þess að almennt er litið á smávirkjanir sem hagstæðar í umhverfislegu tilliti auk þess að þær styrkja byggð í dreifbýli. Umhverfisáhrif vegna smávirkjana eru þó í fáum tilfellum metin til fullnustu og í tilfellum þeirra minnstu er sjaldan ráðist í rannsóknir til að kanna hvaða áhrifa megi vænta á lífríki í straumvatni. Vert er að velta því upp hvort umhverfissögun af einni 100 MW virkjun sé meiri en af hundrað virkjunum sem eru 1 MW hver. Er æskilegra að dreifa umhverfisáhrifum vatnsaflsvirkjana á mörg svæði eða að þau séu á færri svæðum og um leið meiri á hverju þeirra um sig? Þetta getur verið mjög breytilegt eftir eðli framkvæmdanna.

1.3. Markmið verkefnisins

Í ljósi sívaxandi áhuga á smærri virkjunum er ljóst að full þörf er á að áhrif þeirra á lífríki í vatni séu tekin til gaumgæfilegrar skoðunar. Þannig má stuðla að því að bygging þeirra og rekstur verði í sem bestri sátt við umhverfið. Meginmarkmið þeirrar vinnu sem hér er greint frá er tvíþætt:

- 1) Að gera grein fyrir þeim vistfræðilegu áhrifum sem smávirkjanir geta haft á lífríki í vatni og benda á möguleika til að draga úr neikvæðum áhrifum.
- 2) Að gefa yfirsýn yfir stöðu smávirkjana á Íslandi í dag, fjölda í rekstri og niðurlagðar, stærð þeirra og dreifingu og taka dæmi um vistfræðileg áhrif vegna íslenskra smávirkjana.

2. Aðferðir

Vinna við verkefnið skiptist í tvo hluta. Annars vegar heimildavinnu um vistfræðileg áhrif vatnsaflsvirkjana með áherslu á smærri virkjanir auk mótvægisáðgerða. Þar var fanga leitað bæði hérlandis og erlendis. Hins vegar var farið í upplýsingaleit um smávirkjanir á Íslandi, staðsetningu, stærð (afl), byggingarár, niðurlagningu og fleiri. Leitað var til ýmissra aðila m.a. til Orkustofnunar, Fasteignaskrár ríkisins, Skipulagsstofnunar og fleiri. Þá var leitað upplýsinga á vef Atvinnu og nýsköpunarráðuneytis um útgefin virkjanaleyfi. Einnig var leitað til allra sveitarfélaga í

landinu um smávirkjanir í innan þeirra lögsögu. Svör bárust einungis frá 13 sveitarfélögum og voru þau mjög misjöfn af gæðum og umfangi. Benedikt Guðmundsson hjá Akureyrarsetri Orkustofnunar gaf góðfúslegt leyfi til aðgangs að skrá stofnunarinnar um smávirkjanir og er sú skrá sá grunnur sem unnið var með að viðbættum upplýsingum frá öðrum aðilum. Skrá þessi er ekki tæmandi. Síðustu uppfærðar upplýsingar frá Orkustofnun eru frá september 2014.

Smávirkjanir hafa verið olnbogabörn í kerfinu og munu vera það enn. Löggildingarstofa var með eftirlit með þeim um tíma sem og Rafmagnseftirlit ríkisins. Samkvæmt upplýsingur frá Orkustofnun eiga eigendur virkjana með uppsett afl 30–1.000 kW að skila Orkustofnun tæknilegum upplýsingum um virkjun sem og framleitt orkumagn en það er mikill misbrestur á því.

3. Vatnsaflsvirkjanir og áhrif þeirra á lífríki, fiskstofna og veiðinýtingu

3.1. Gerðir vatnsaflsvirkjana

Virkjun vatnsafls til raforkuframleiðslu felst í því að hreyfiorku vatns sem fellur niður tiltekna hæð er umbreytt í raforku með notkun rafals. Vatnsaflsvirkjanir geta verið margskonar en þær má flokka á mismunandi hátt, t.d. eftir uppsettu afli, virkjaðri fallhæð, möguleika á geymslu orku. Hér verður farið yfir fjóra flokka vatnsaflsvirkjana sem byggja á möguleika þeirra til að geyma vatn, en það er sá þáttur sem gjarnan leiðir af sér hvað mest umhverfisáhrif (Egre og Milewski, 2002).

Virkjun með miðlunarlóni

Stífla er byggð í árfarvegi eða útfalli stöðuvatns og vatni safnað í lón sem síðan er nýtt eftir þörfum yfir árið. Með slíkri miðlun er vatn tryggt á tímum sem það væri ekki án miðlunar til dæmis á veturna þegar vatnsrennsli er almennt lítið. Slík virkjun hentar einnig vel þegar framleiða þarf orku eftir breytilegum þörfum notandans. Vatnið sem til fellur á svæðinu nýtist betur og hægt er að hafa uppsett afl virkjunarinnar nokkuð nærri minnsta meðalrennsli árinna (Egre og Milewski 2002, Iðnaðar og viðskiptaráðuneytið, 2010). Umhverfisáhrif vatnsaflsvirkjana eru hvað best þekkt í virkjunum með miðlunarlónum og tengjast þau raski vegna framkvæmda á byggingatíma, svo sem stíflu-

og skurðagerð, byggingu raforkuvers, innviðum svo sem vegum og raflínum, breytingum í rennsli og myndun lóns. Þegar litið er til áhrifa á vatnalíf þá eru áhrifin gjarnan mest vegna stíflugerðar, myndunar lóns og vegna breyttra rennslishátta.

Rennslisvirkjun

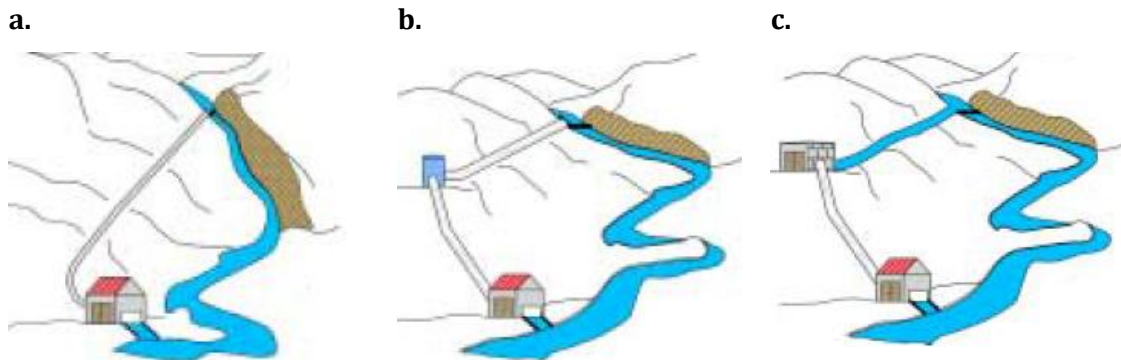
Árvatn, eða hluti þess, er nýtt í samræmi við náttúrulegar aðstæður á hverjum tíma. Umframvatni er ekki safnað í miðlunarlón heldur er yfirleitt um að ræða lítið inntakslón með yfirfalli. Ef uppsett afl rennslisvirkjunar miðast við lágmarksrennsli árinna getur orkuframleiðslan verið stöðug, en ef uppsett afl er haft meira en lágmarksstreymið þá verða afköst virkjunarinnar háð rennslinu (lðnaðar og viðskiptaráðuneytið, 2010). Lang flestar smávirkjanir á Íslandi eru rennslisvirkjanir. Helstu umhverfisáhrif rennslisvirkjana tengjast raski vegna framkvæmda á byggingatíma, stíflugarði fyrir inntakslón, minnkuðu rennsli á kafla milli inntaks og útfalls virkjunar, og breyttu rennslismynstri. Áhrif á vatnalíf eru mest í tengslum við stíflu eða hindrun í farvegi og vegna skerts rennslis eða breyttra rennslishátta.

Virkjun með dælimiðlun

Dælimiðlun felst í því að umframorka virkjunar er nýtt til að dæla vatni aftur upp í lón þar sem það er nýtt aftur til að knýja raforkuframleiðslu á álagstímum. Þetta er talið vera ein skilvirkasta leiðin sem völ er á til að geyma orku, þrátt fyrir að ekki fáiist nema 65-75% til baka af því rafmagni sem notað er til að dæla vatninu upp. Umhverfisáhrif tengd dælimiðlun eru háð staðsetningu lónsins sem dælt er í og stöðvarhúss (ofanjarðar eða neðanjarðar) auk eðli vistkerfisins í neðra lóninu (Egre og Milewski, 2002). Ekki eru dæmi um virkjanir með dælimiðlun á Íslandi.

Virkjun með hjáveitu

Hjáveita í virkjunum getur annars vegar falist í því að á er stífluð, tekin í stökk og skilað aftur neðar í farveg sömu ár. Þetta er gert til að nýta fallhæð árinna (1.mynd). Hins vegar getur hjáveita falist í því að einni á er veitt í aðra á sem búið er að virkja, til að auka rennsli og þar af leiðandi orku. Umhverfisáhrif vegna hjáveitu felst fyrst og fremst í mikilli rennslisskerðingu í farvegi þeirrar ár sem veitt er frá en getur einnig haft áhrif í þeirri á sem veitt er til.



1. mynd. Þrjú dæmi um útfærslu smárra rennslisvirkjana. **1.a.** Virkjun með hjáveitu og inntaki í sama mannvirki. Þrýstipípa er lögð frá inntakinu að stöðvarhúsinu án jöfnunarþróar. **1.b.** Virkjun með hjáveitu og inntaki í sama mannvirki. Frá inntakinu er lögð lágþrýstilögn að jöfnunarþró og þrýstipípa þaðan og að stöðvarhúsinu. **1.c.** Virkjun með hjáveitu þar sem vatninu er veitt í skurði um nokkurn veg að inntaki. Þrýstipípa liggur frá inntakinu að stöðvarhúsinu (Iðnaðar og viðskiptaráðuneytið, 2010).

3.2. Litlar virkjanir eða stórar

Þegar rætt er um hvort virkjanir eru litlar eða stórar er jafnan vísað í uppsett afl þeirra. Skilgreiningin á smáum virkjunum getur verið mjög mismunandi milli landa þar sem hámarks uppsett afl getur verið allt frá 1MW upp í 100MW. Þessi mikla spönn virðist benda til þess að slíkar skilgreiningar byggist frekar á geðþótta eða pólitískum ástæðum fremur en vísindum (Bakken og fleiri, 2014).

Á meðan það er bæði algengt og hagkvæmt í stjórnsýslulegu tilliti að flokka vatnsaflsvirkjanir eftir stærð, eru hvorki tæknilega né vísindalega haldbær rök sem styðja slíka flokkun (IEA, 2000). Bent hefur verið á að uppsett afl gefi ekki góða vísbendingu um umfang umhverfisáhrifa vatnsaflsvirkjana þar sem smærri virkjanir geti haft í för með sér meira rask á hverja einingu af framleiddri orku heldur en stærri virkjanir (Bakken og fleiri, 2014, Edenhofer og fleiri, 2011). Innan vatnsaflsvirkjanageirans eru uppi mismunandi skoðanir um hvort sé umhverfisvænna að þróa margar litlar virkjanir eða fáar stórar. Víða hefur ríkjandi viðhorf verið að smærra sé betra og því er lagaumhverfi í mörgum löndum byggt upp þannig að það hvetji frekar til smærri virkjanaframkvæmda (Bakken og fleiri, 2014). Vísindamenn hafa þó í vaxandi mæli áhyggjur af þessari þróun þar sem mikill fjöldi smávirkjana leiðir til aukins rofs á samfellu í vatnakerfum sem getur magnað upp umhverfisáhrif virkjananna (Erikstad og fleiri, 2009). Það viðhorf að smærri virkjanir séu betri en stærri byggist á

þeirri forsendu að umhverfisáhrif lítilla, smá- eða örvirkjana séu takmörkuð í ljósi þess að þau raski minna svæði og hafi einungis áhrif á lítil vatnshlot. Þá er talið að áhættan sé minni þar sem stíflur eru smærri að gerð og minna rask. Séu hins vegar umhverfisáhrif lítilla virkjana borin saman við umhverfisáhrif stórra virkjana á grundvelli framleiddrar raforku, verða kostir við smávirkjanir síður greinilegir. Hvort er í raun skaðlegra fyrir umhverfið, ein stór virkjun á einni á með 1000 MW uppsett afl eða 200 virkjanir með 5 MW uppsett afl á 50 mismunandi ám? Sem dæmi hefur lítill hlutur meira hlutfallslegt yfirborð heldur en stór hlutur. Þegar teningur er tvöfaldaður í stærð, fjórfaldast yfirborð hans en rúmmálið áttfaldast. Þannig að til að ná upp sama geymslumöguleika fyrir vatn með 200 5MW virkjunum þarf að sökkva mun meira landi heldur en með einni 1000 MW virkjun (Egre og Milewski, 2002). Það er ekki sjálfgefið að minni virkjun valdi minni umhverfisáhrifum. Í stað þess að bera almennt saman vatnsaflsvirkjanir eftir uppsettu afli er eðlilegra að skoða hvert tilvik fyrir sig þar sem umhverfisáhrif á hverja einingu framleiddrar orku eru metin ásamt efnahagslegum ábata (Kumar og fleiri, 2011).

3.3. Áhrif á lífríki í vatni

Áhrif vatnsaflsvirkjana á vatnalíf, svo sem breyting á samsetningu fiskstofna, breytingar á búsvæðum, skerðing á hrygningar- og uppeldissvæðum, breyting á vatnsgæðum, breyting á rennslisháttum og skerðing á samfellu áa, eru vel þekkt (Robson og fleiri, 2011). Umfang þessara áhrifa er mismunandi og fer fyrst og fremst eftir staðháttum og vatnafari á hverjum stað auk þess hvernig staðið er að hönnun virkjunar, rekstri hennar og mótvægisáðgerðum. Hér á eftir er farið ítarlega í helstu áhrif vatnsaflsvirkjana á lífríki í vatni. Þar sem skortur er á rannsóknum á smáum vatnsaflsvirkjunum á meðan þær stærri eru gjarnan mikið rannsakaðar, verður að hluta til að heimfæra niðurstöður af stærri virkjunum yfir á minni. Það skal haft í huga að litlar virkjanir eru þó almennt byggðar upp af sömu meginhlutum og stórar virkjanir, en þær eru oftast rennslisvirkjanir (Iðnaðar og viðskiptaráðuneytið, 2010). Þar sem grunneiningarnar eru þær sömu, stífla (stór eða lítil) sem mögulega getur hindrað göngu fiska, hjáveita vatns, inntak og útfall, eru umhverfisáhrifin í stórum dráttum þau sömu þó skalinn sé annar (Robson og fleiri, 2011).

3.3.1. Miðlunar- og inntakslón

Miðlunarlón eru notuð til að safna í vatni og nýta svo eftir þörfum þegar rennsli minnkar. Á norðlægum slóðum er yfirleitt safnað í slík lón frá því að leysingar byrja að vori og fram undir haust þegar hæstu vatnsstöðu er náð. Síðan er miðlað úr því yfir vetrarmánuðina á meðan rennsli er minna en orkuþörf jafnan mest. Þegar miðlunarlón er myndað fer af stað framvinda sem skipta má í þrjú skeið. Fyrst er upphafsskeið þegar land fer undir vatn, gróður rotnar og mikil losun lífrænna efna á sér stað. Á þessu skeiði getur orðið tímabundin aukning á vatnalífi og fiskstofnum og stendur þetta skeið gjarnan í 3-5 ár, jafnvel lengur. Á eftir upphafsskeiði kemur rofskeið þar sem hægir á losun efna og rofferlar ráða framvindunni. Þetta skeið getur staðið yfir í áratugi eða jafnvel árhundruð. Síðast tekur við jafnvægisskeið, þegar hægir á rofferlum og nýtt og stöðugra ástand kemst á vistkerfið (Vogt, 1978). Vatnsborðsbreytingar í kjölfar myndunar miðlunarlóns leiða til aukinnar útskolunar jarðefna úr bökkum en magn útskolunar fer eftir ýmsum þáttum eins og lögun vatnsskálar, jarðlagagerð, botnagerð, öldugangi og miðlunarhæð. Fínustu agnirnar skolast fyrst burtu og því er rofið mjög háð því úr hvers konar efni bakkarnir eru gerðir. Rofefni skolast síðan annaðhvort út úr miðlunarlóninu eða botnfalla á dýpri hlutum þess. Eins og fram hefur komið getur orðið aukning á frumframleiðslu og um leið öðru vatnalífi á upphafsskeiði miðlunarlóns. Þegar rotnun gróðurs og útskolun lífrænna efna lýkur, minnkar frumframleiðsla aftur og um leið framboð á fæðudýrum sem leiðir til þess að fiskstofnar rýrna og verða minni en fyrir virkjun. Miðlunarlón eru oftast í hæstri stöðu á haustin en í lægstri stöðu á vorin og snemma sumars. Breytileiki í hæð vatnsborðs hefur neikvæð áhrif á lífríkið og gætir þeirra mest á strandsvæðum þar sem stærsti hluti lífrænnar framleiðslu fer fram. Umfang áhrifanna er háð miðlunarhæð og lögun vatnsskálar en fari stórir hlutar framleiðslusvæðis á þurrt hluta úr ári getur það haft alvarlegar afleiðingar fyrir marga lífveruhópa og vistkerfi vatnsins í heild (Aass og Borgström, 1987). Mestu neikvæðu áhrifin eru á botndýr á strandsvæðum sem hafa litla hreyfigetu, þetta eru t.d. vatnabobbar og vorflugulifur sem eru jafnframt mjög þýðingarmikil fæða fyrir urriða og bleikju (Eie, 2013).

Vatnafræðilegir eiginleikar breytast einnig töluvert við myndun miðlunarlóna sem hefur áhrif á lífríkið. T.d. eykst viðstöðutími vatns og hitasveiflur verða gjarnan minni en ella þar sem vatn er lengur að hlýna að vori og lengur að kólna að hausti. Rennslishættir

breytast einnig þar sem rennsli er jafnað, flóðtoppar minnka og náttúrulegar rennslissveiflur milli árstíða minnka vegna miðlunar (Magnús Jóhannsson og fleiri, 2002).

Vistfræðileg áhrif vegna myndunar lóna einskorðast ekki við miðlun þó það sé vissulega stór hluti þeirra. Í rennslisvirkjunum eru jafnan mynduð inntakslón með nokkru dýpi við hjáveituna til þess að taka upp minniháttar sveiflur í vatnsnotkun, hægja á streymi og koma í veg fyrir ísvandamál (Iðnaðar- og viðskiptaráðuneytið, 2010). Slík lón geta verið misstór, en þegar straumvatni er breytt í stöðuvatn með þessum hætti breytist lífvist verulega. Straumur verður nær enginn og dýpi eykst. Vistfræðilegar afleiðingar m.t.t. fiska felast í því að hrygningastaðir í farvegi leggjast af og uppeldissvæði raskast. Neikvæð áhrif eru mest fyrir lax en í sumum tilfellum geta urriði og bleikja trúlega nýtt sér lónin til uppeldis (Guðni Guðbergsson og Ragnhildur Magnúsdóttir, 2000). Jafnframt getur lón í farvegi þar sem streymi er hægara tafið fisk á leið niður og jafnvel valdið því að hann verður innlyksa í lóninu (Magnús Jóhannsson og fleiri, 2002). Fyrir botndýr felast afleiðingarnar í því að lífverum sem sérhæfa sig í að síða fæðuna úr vatninu, svo sem bitmýs- og rykmýslirfum, fækkar og þær hverfa. Botndýr sem einkenna straumvatn eru mikilvægar fæðutegundir laxfiska og er því hætt við að fæðuframboð laxfiska sé minna í lónstæði að loknum framkvæmdum. Umfang breytinganna er þó tengt framleiðslu lífræns efnis við botn, en oft eru lónin djúp og framleiðslan lítil (Magnús Jóhannsson og fleiri, 2002).

3.3.2. Stíflur eða hindranir

Þegar byggðar eru virkjanir, hvort sem um er að ræða stórar virkjanir með miðlunarlóni eða smáar rennslisvirkjanir er iðulega gerð einhverskonar stífla eða stíflugarður. Stærðin getur verið allt frá mjög lágum stíflugarði fyrir inntakslón í lítilli rennslisvirkjun upp í stóra stíflu fyrir virkjun með miðlunarlóni. Hvert sem tilfellið er þá stuðla slíkar hindranir að rofi á samfellu í ám, ýmist vegna stíflu og/eða vegna skerts rennslis á kafla frá inntakslóni að útfalli úr virkjun. Slíkt rof á samfellu ógnar heilbrigði vatnavistkerfa með því að hefta flæði sets og næringarefna, breyta samfélögum vatnalífvera, þéttleika þeirra og samsetningu, skipta upp búsvæðum og hefta aðgengi að svæðum til fæðuöflunar, hrygningar og uppeldis, og hefta eða tefja far fiska svo sem lax eða áls (Robson og fleiri, 2011).

Uppskipting búsvæða (e. habitat fragmentation) vegna vatnsaflsvirkjana getur leitt af sér uppskiptingu fiskstofna þar sem þeir minnka og genaflæði innan þeirra dregst saman. Erfðafræðilegur fjölbreytileiki getur skerst vegna genaflökts eða innræktunar, sem aftur getur leitt af sér minnkaða hæfni stofnsins til að aðlagast og lifa af breytingar í umhverfinu. Litlir stofnar eru viðkæmari fyrir áhrifum slíkrar uppskiptingar. Á Íslandi hefur verið sýnt fram á mikinn erfðafræðilegan fjölbreytileika innan tegunda ferskvatnsfiska (Skúli Skúlason og fleiri, 1999; Bjarni Jónsson og Skúli Skúlason, 2000; Bjarni Jónsson, 2002; Guðmundur Ingi Guðbrandsson og Bjarni Jónsson, 2002; Bjarni Kr. Kristjánsson og fleiri, 2002; Douchette og fleiri, 2004) og því geta neikvæð áhrif hindrana á líffræðilegan fjölbreytileika verið mikil hérlandis (Guðmundur I. Guðbrandsson og fleiri, 2005).

Hvort sem hindrun er lág eða há getur hún tafið eða heft alveg far fiska og þannig heft aðgengi að hluta árinna sem um ræðir (Kemp og fleiri, 2010). Ýmsar rannsóknir staðfesta þetta. Sem dæmi má nefna rannsókn frá S-Frakklandi á 30 vatnsaflsvirkjunum, þar af 20 smávirkanir (undir 10MW) þar sem far fisks upp fyrir virkjanirnar var kannað með útvarpsmerkingum. Niðurstöður leiddu í ljós að í 16 tilfellum var ganga fisks upp möguleg án teljanlegra tafa, í 10 tilfellum ollu virkjanirnar umtalsverðum töfum eða hindruðu alfarið göngu hluta fiskstofna og í 5 tilfellum var um að ræða algera hindrun fyrir göngufisk. Mestar voru hindranirnar við gamlar virkjanir sem voru neðarlega á vatnasviðum (Larinier, 2008). Þá hefur verið sýnt fram á að jafnvel mjög lágar hindranir komi í veg fyrir álagöngur upp vatnsföll og að álar fara síður niður ár þar sem hindrun er til staðar og snúa jafnvel aftur upp við hindranir (Haro og fleiri, 2000, Behrmann-Godeal og Eckmann, 2003). Það er mikilvægt að huga að þessum atriðum í ljósi þess að laxfiskar sækja í að hrygna í sínar upprunaár og ef hindranir eru til staðar í ám sem hindra göngu smærri hrygningarfisks á hrygningarstöðvar getur það leitt til breytinga á genamengi innan stofnsins (Robson og fleiri, 2011).

Það hefur verið ríkjandi viðhorf að aukin hæð stíflu/hindrunar í farvegi dragi sjálfkrafa úr möguleikum fiska til að komast yfir hana. Þetta er þó töluverð einföldun þar sem möguleiki fiska á að komast yfir hindrun er háður ýmsum öðrum þáttum en hæð hindrunar. Þetta eru þættir svo sem vatnafræðilegir eiginleikar, rennsli, vatnshiti og stærð og tegund þess fisks sem um ræðir (Larinier, 2001). Stíflur undir 5 metra hæð geta haft umtalsverð áhrif á rennsli og búsvæði og um leið samfélagsgerð vatnalífvera. Þá

hefur verið sýnt fram á að litlir stíflugarðar, jafnvel aðeins 50 cm háir geta tafið göngur hjá bæði urriða og laxi og að 1,2 m háar stíflur geta reynst óyfirstíganlegar hindranir (de Leaniz, 2008) en það fer eftir rennsli og vatnshita (Robson og fleiri, 2011). Það er því mikilvægt að vatnafar á hverjum stað sé tekið með í reikninginn, annars getur lítil rennslisvirkjun verið jafn skaðleg fyrir far fiska og lífríki og stærri virkjun með lóni (Lucas og fleiri, 2001).

Áhrif stífla á fiska tengjast ekki eingöngu hindrunum á göngu þeirra upp í ár, heldur einnig hættum á leið þeirra niður til sjávar. Helstu leiðir seiða niður fram hjá virkjun eru í gegn um hverfla í stöðvarhúsi, niður fiskstiga/seiðafleytur eða á yfirfalli. Afföll fiska sem fara í gegn um hverfla eru vel þekkt en þau eru mismikil eftir t.d. gerð hverfla (fjöldi blaða og op á milli þeirra), fallhæð (þrýstingur) og stærð fisks sem fer í gegn (Whitney og fleiri, 2006). Afföll á fiskum geta einnig orðið vegna yfirmettunar lofts í vatni neðan stíflugarða. Vatn á yfirfalli getur yfirmettast af lofti á leið sinni niður stífluna en það getur einnig gerst þegar loft blandast vatni undir þrýstingi í hverflum virkjana (NFSC, 1999). Fiskar sem lenda í lengri tíma í yfirmettuðu vatni geta fengið svokallaða kafaraveiki, þ.e. þegar hlutþrýstingur lofts í blóði verður eins og í umhverfinu. Þegar fiskur fer úr þessu umhverfi og aftur í vatn þar sem hlutþrýstingur lofts er í jafnvægi verður þrýstingur í blóði hár, loftið skilst úr blóðinu og getur valdið skaða á líffærum. Þetta getur leitt til dauða fisksins. Oft eru það samanlögð áhrif margra virkjana sem valda mestum skaða (NFSC, 1999).

Rask á framkvæmdatíma við byggingu lítilla stíflugarða eða hindrana getur að auki haft mikil áhrif á vatnavistkerfi og er þar fyrst að telja rask á búsvæðum vatnalífvera. Þá getur aukin setmyndun, í kjölfar hindrunar ofar í farveginum, minnkaðs rennslis og rasks vegna byggingaframkvæmda, valdið því að setið sest á milli steina í botnmölinni og hindrar flæði súrefnisríks vatns niður í riðaholur fiska og þannig getur dregið úr fiskframleiðslu (Crisp, 2000).

Með aukinni útbreiðslu lítilla rennslisvirkjana geta áhrif vegna rofs á samfellu magnast upp, skert far vatnalífvera og haft áhrif á breytingar á samfélagsgerðum. Umfang slíkra áhrifa eru þó ekki þekkt og er nauðsynlegt að gera sérstaka úttekt á því svo hægt sé að meta raunverulegt umfang og afleiðingar. Vísbendingar um möguleg áhrif má þangað til draga af stærri vatnsaflsvirkjunum, þó með þeim fyrirvara að rennslisvirkjanir eru

jafnan töluvert minni og geta verið yfirstíganleg hindrun fyrir fisk við tiltekna aðstæður svo sem þegar rennsli er mikið (Robson og fleiri, 2011).

3.3.3. Rennslisbreytingar

Vatnafar og rennslishættir eru grundvallar áhrifaþættir þegar kemur að mótun vatnavistkerfa (Junk og fleiri, 1989, Bunn og Arthington, 2002, Poff og Zimmerman, 2010). Uppruni og magn vatns sem rennur í ám mótar búsvæði þeirra og hefur bein áhrif á vatnsgæði, hitastig, hringrás næringarefna, aðgengilegt súrefni og landmótunarferla árinna (Poff og fleiri, 1997). Náttúrulegt rennslismynstur getur verið mjög breytilegt og stundum geta verið miklar sveiflur í tíma, milli árstíða eða ára. Vatnavistkerfin og lífverur laga sig að þessum náttúrulega breytileika á hverjum stað. Þetta er ástæða þess að mikilvægi náttúrulegs rennslismynsturs og vatnafars er almennt viðurkennt sem lykilþáttur þegar kemur að því að varðveita og viðhalda líffræðilegum fjölbreytileika og heilbrigði vatnavistkerfa (Poff og fleiri, 1997, Bunn og Arthington, 2002).

Virkjun straumvatna breytir oftast rennslisháttum og vist á á áhrifasvæðum. Hvort sem um er að ræða virkjun með miðlunarlóni eða minni rennslisvirkjun með inntakslóni. Vatnið er leitt úr lóni í virkjun og frárennsli virkjunar leitt um lengri eða skemmri leið neðar til árinna. Við þetta skerðist vatnsrennsli í farvegi milli inntaks og frárennslis sem oft hefur slæmar afleiðingar fyrir vatnalífverur (Magnús Jóhannsson og fleiri, 2002).

Eins og áður kemur fram hefur gjarnan verið litið svo á að rask og áhrif á vatnalífriki af völdum lítilla rennslisvirkjana sé mun minna en af stærri virkjunum með miðlunarlóni. Rennslisvirkjanir skerði ekki samfellu á með sama hætti og stífla með lóni og því ættu áhrif á vatnalífriki að vera takmörkuð. Staðreyndin er hins vegar sú að jafnvel litlar stíflur geta hindrað fiskgöngur. Smávirkanir geta einnig valdið rennslisskerðingu og rennslissveiflum. Þekking er aftur á móti takmörkuð á því hversu mikið má skerða rennsli í ám áður en verulegur skaði verður á vatnalífi (Merrett, 2007).

Breytingar á rennsli vegna virkjana, sem fela gjarnan í sér tíðar rennslissveiflur, geta haft margvísleg áhrif á lífríki ána (Magnús Jóhannsson og fleiri, 2002). Sýnt hefur verið fram á að manngerðar rennslissveiflur hafa skaðleg áhrif á lífríkið og eru skyndilegar sveiflur verstar (Saltveit og fleiri, 2001). Mikil og skyndileg rennslisaukning, t.d. vegna yfirfallsvatns framhjá virkjunum, raskar og breytir lífvist fiska og botndýra (Margalef, 1960, Saltveit og fleiri, 1995). Botndýr geta skolast af búsvæðum og aðrar tegundir

leitað undan straumnum að nýjum hentugum búsvæðum þannig að eftir verður fæðusnauð vist. Snarminnkað rennsli hefur gagnstæð áhrif. Vel þekkt er að fiskseiði ná ekki að koma sér undan vatnsborðsbreytingunum og lenda á þurru (Ward og Stanford, 1979, Hvidsten, 1985, Saltveit og fleiri, 2001). Góð búsvæði botndýra og fiska geta að sama skapi farið á þurrt sem kemur niður á framleiðslu smádýra og fiskstofnum (Magnús Jóhannsson og fleiri., 2002, Magnús Jóhannsson og fleiri., 2011). Lítið rennsli getur einnig valdið því að það þornar alveg eða jafnvel frýs á hrognum með tilheyrandi affölum. Í ám þar sem seiði helga sér óðul er fjöldi góðra óðala venjulega takmarkandi þáttur fyrir stofnstærð. Framleiðsla seiða eykst ef óðulum fjölgar, annað hvort með tilurð nýrra búsvæða eða þau sem fyrir eru batna og geta framfleytt fleiri seiðum. Röskun búsvæða getur leitt til færri eða rýrari óðala. Talið er að ef um helmingi góðra óðala er raskað geti það haft mikil áhrif á stofnstærð (NOU, 1999). Lækkun vatnsborðs í kjölfar skerts rennslis hefur neikvæð áhrif á búsvæði laxfiska þegar ákveðnu dýpi er náð. Hvenær neikvæð áhrif vatnshæðar koma fram fer m. a. eftir lögun áfarvegarins og botngerð. Áhrifin eru þó breytileg eftir fiskstærð og tegundum. Skert rennsli getur einnig haft áhrif á far lífvera. Mjög algengt er að það skerði möguleika fiska til að ganga upp vatnsföll. Þá getur útfallsvatn virkjana laðað til sín fiska þannig að þeir gangi í frárennslisgöngin. Báðir þessir þættir geta tafið eða jafnvel komið í veg fyrir eðlilegar fiskgöngur upp vatnsföll (Thorstad og fleiri., 2003).

Áhrif skerts rennslis vegna stórra virkjana eru nokkuð vel þekkt á meðan áhrif smærri virkjana eru tiltölulega lítið þekkt (Eie, 2013). Hvað varðar smávirkjanir þá geta bæði lífræn framleiðsla og þéttleiki laxfiska verið verið mikil í smáum ám og lækjum. Smærri lækir sem renna í stöðuvötn eða stærri ár geta haft mikla þýðingu sem hrygningar- og uppeldisvæði fyrir urriða (Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson, 2012). Um getur verið að ræða staðbundna og/eða sjógengna stofna (sjóbirting). Því má ætla að stofnar urriða, og hugsanlega bleikju einnig, verði frekar hætta búin af smæstu virkjununum en laxi. Þá hefur verið bent á að færsla á vatni úr farvegi lækja í inntaksrör virkjana getur haft áhrif á vatnshita þar sem lofthiti hefur ekki áhrif á vatnið í rörunum. Þetta þýðir að vatnshiti í frárennslisvatni virkjunar verður lægri en hann var fyrir (Eie, 2013). Það aftur getur haft áhrif tímgun og þrif fiska og annarra vatnalífvera.

En það eru ekki bara ónáttúrulegar rennslissveiflur sem hafa neikvæð áhrif á vatnalíf heldur getur jöfnun náttúrulegra rennslissveiflna einnig haft afdrifaríkar afleiðingar. Sé mikið vatn tekið inn í rennslisvirkjanir er algengt að náttúrulegar sveiflur fletjist út, eins

Tafla 1. Helstu áhrif og afleiðingar vatnsaflsvirkjana á lífríki í vatni.

Álag	Helstu áhrif	Afleiðing
Framkvæmd	Efnistaka Jarðrask	Röskun búsvæða Breytt lífvist og lífverusamfélög
Lón í árfarvegi	Breytt vatnsstaða Straumvatn verður stöðuvatn Viðstöðutími vatns eykst Tímabundin útskolun jarðefna Breyttar hitasveiflur Breytt flæði sets í inntakslóni	Lífverur aðlagðar að straumvatni hverfa Framleiðsla í lóni eykst tímabundið Lífsferlar vatnalífvera geta hliðrast, raskast Heft/skert far vatnalífvera
Rennslisstýring	Ónáttúrulegar rennslissveiflur Minnkað rennsli neðan stíflu Breyttur vatnshiti	Verri afkoma lífvera sem aðlagðar eru að náttúrulegu mynstri flóða og lágrennslis Skert búsvæði minni framleiðsla Breytt lífvist og lífverusamfélög Röskun á fiskgöngum
Miðlun í lóni	Vatnsborðssveiflur Rennslisbreytingar neðan lóns	Mikilvæg framleiðslusvæði í fjöru eyðileggjast
Inntak	Vatn tekið inn í hverfla virkjunar	Fiskar geta lent í hverflum og drepist
Stífla	Rof á samfellu Breytt flæði sets neðan stíflu Vatn á yfirfalli getur yfirmettast af lofti Minnkað rennsli neðan stíflu	Hindrun á fari fiska og annarra vatnalífvera (bæði upp og niður árfarveg) Aukinn þörungavöxtur Skert og eða breytt búsvæði lífvera neðan stíflu Lélegri klakárangur Fiskar geta veikst og drepist vegna yfirmettunar

og hárennslid. Náttúruleg flóð gegna mikilvægu hlutverki í vatnavistkerfum, með því að hreinsa set af botni eftir langvarandi lágrennslis. Aukin setmyndun getur haft margvísleg neikvæð áhrif á laxfiska, en þá helst á hrygningarsvæði og riðabletti vegna skorts á súrefnisríku vatni eins og þegar hefur verið nefnt. Því er æskilegt að viðhalda

náttúrulegum flóðum og lágrennsli eins og kostur er. Óhjákvæmilegt er þó að rennslishættir séu að einhverju leyti breyttir vegna virkjunar (Robson og fleiri, 2011).

Æskilegt er að huga sérstaklega að eftirfarandi atriðum sem tengjast rennsli ef viðhalda á náttúrulegum og heilbrigðum straumvatnsvistkerfum; 1) útslag rennslissveiflna, lágrennsli og hárennsli. Sérstaklega mikilvægt er að rennsli fari ekki niður fyrir tiltekið lágrennsli svo búsvæði vatnalífvera skerðist sem minnst, 2) tíðni, 3) tímasetning og 4) hraði rennslisbreytinga (Richter og fleiri, 1997).

Hér að framan hefur verið farið nokkuð ítarlega í þau áhrif sem vatnsaflsvirkjanir og tilteknir hvaða hlutar þeirra geta haft á aðliggjandi vatnavistkerfi. Tafla 1 gefur yfirlit yfir þessi helstu atriði.

3.3.4. Mótvægisaðgerðir

Umfang vistfræðilegra áhrifa virkjana á lífríki í ám og vötnum fer eftir ýmsum þáttum, meðal annars hvar virkjun er staðsett innan vatnakerfis, hvers konar vistkerfi um er að ræða, hverskonar búsvæði er raskað, hlutfall raskaðs svæðis af heild, hversu mikil fallhæðin er, hversu mikið rennslismynstur breytist og hversu hratt þær breytingar verða. Einnig hefur áhrif hvort fleiri virkjanir eru í sama vatnakerfi sem þá geta haft samlegðaráhrif. Það lífríki sem fyrir er; tegundir, aldurshópar, þéttleiki og dreifing hefur einnig mikið að segja um hversu viðkvæmt vistkerfið er fyrir slíkum áhrifum bæði hvað varðar einstakar tegundir og lífríkið í heild.

Mótvægisaðgerðir eru notaðar til að draga úr eða vega á móti neikvæðum áhrifum virkjana. Helstu þekktu mótvægisaðgerðir vegna vatnsaflsvirkjana eru bygging fiskvega og seiðafleyta, stýring á rennsli, svo sem viðhald lágmarksrennslis eða skilgreining vistfræðilegs rennslis, hindranir fyrir inntak og útfall auk hönnunar á hverflum (Robson og fleiri, 2011). Yfirleitt er auðveldara að koma við mótvægisaðgerðum gegn umhverfisáhrifum lítilla virkjana en stórra. Umfang virkjunar og áhrifasvæðis hennar er þá jafnan minna og því getur verið einfaldara að bera kennsl á líkleg umhverfisáhrif (ESHA, 2004). Þrátt fyrir það getur verið flókið að meta nauðsyn fyrir og taka ákvarðanir um viðeigandi mótvægisaðgerðir. Því er mikilvægt að hefja snemma í undirbúningsferli mat á bæði umhverfisáhrifum og mótvægisaðgerðum gegn þeim í samstarfi við viðeigandi stofnanir (ESHA, 2004). Einnig er mikilvægt að horfa á skipulag virkjana innan vatnasviða og/eða landsvæða í samhengi, því ef fleiri en ein virkjun eru í

vatnakerfi geta komið til samlegðaráhrif sem geta magnað upp heildaráhrif virkjana á einstaka þætti. Mikill kostur er að geta horft á heildaráhrif allra mögulegar virkjana innan sama vatnasviðs frekar en að taka hverja framkvæmd fyrir sér.

Þegar ákvarðanir eru teknar um hvaða mótvægisáðgerðum verður beitt, er mikilvægt að jafnframt séu sett viðmið um virkni þeirra og að árangurinn sé metinn með rannsóknum. Þannig verði tiltekið fyrirfram hver væntanlegur árangur mótvægisáðgerðanna er og hann svo metinn með mælingum eftir á.

Inngangshindrun fyrir inntak og útfall

Inngangshindranir ásamt hjáleiðum geta verið nauðsynlegar annars vegar til að koma í veg fyrir afföll seiða á leið niður í gegn um hverfla og hins vegar þar sem útfall virkjunar laðar að göngufisk á uppleið. Sérstaklega getur verið mikilvægt að hindra að seiði komist inn í inntak þar sem ekki eru seyðafleytur eða annað til að hjálpa þeim niður fram hjá virkjuninni (Clay, 1995, Robson og fleiri, 2011). Augljósasta leiðin til að koma í veg fyrir að seiði og annar fiskur lendi í hverflum virkjana er fyrirstaða með það smáum opum að fiskur komist ekki í gegn. Einnig hefur verið reynt að stýra fiski fram hjá inntaki með ljósum, rafmagni, hljóðum eða öðrum búnaði sem hefur áhif á atferli þeirra (Larinier og Travade, 1999).

Fiskvegir og seiðafleytur

Jafnan fylgja einhvers konar stífla/stíflur eða hindrun í farvegi vatnsaflsvirkjunum, hvort sem það er til að halda uppi miðlunarlóni eða til að tryggja vatnsmagn til að keyra hverfla rennslisvirkjunar. Slíkar hindranir geta komið í veg fyrir göngur fiska en þær geta verið til og frá hrygningar- og/eða uppeldissvæðum, til sjávar, innan áa eða á milli áa/lækja og vatna. Fiskvegir hafa það markmið að gera fiskum kleyft að komast upp fram hjá slíkum hindrunum. Margir fiskvegir hafa verið byggðir hér á landi en flestir þeirra hafa verið gerðir til að opna gönguleið um náttúrulegar hindranir (Hafðís Hauksdóttir, 1999). Mikilvægt er að velja hentuga gerð fiskvega og útfærslur m.t.t. aðstæðna. Eftirfarandi atriði þarf að hafa huga við gerð fiskvega (Robson og fleiri, 2011):

- Staðhættir og vatnafar.
- Mismunandi sundgeta fisktegunda og aldurshópa sem þurfa að komast upp fyrir, straumhraði og iðustreymi skiptir einnig máli í þessu samhengi.

- Fiskvegur þarf að vera fær á göngutíma fiska.
- Staðsetning inngangs fiskvegar skiptir máli, hann þarf að vera aðgengilegur og nauðsynlegt að straumur sé nægur til að laða fiskinn að.

Oft er inngangur nálægt útfalli virkjunar þar sem straumurinn þaðan getur laðað fiskinn að og auðveldað honum að finna inngang fiskvegarins. Mikilvægt er að straumur frá fiskvegi fari í straumlítið svæði, hyl eða lygnu þannig að fiskur nemi straum frá fiskveginum. Með þessu má einnig draga úr aukinni streitu og álagi á fiskinn við að reyna að komast upp (Clay, 1995). Litur á fiskvegi og birta getur jafnframt haft áhrif á hvernig gengur að laða fisk upp fiskveg. Lindmark og Gustavsson (2008) sýndu fram á með rannsókn á laxi og urriða að mun stærri hluti göngufisks fór upp fiskveg ef hann var litaður svartur, og var það óháð straumhraða.

Þekking á aðferðum til að koma göngufiskum á niðurleið fram hjá virkjunum er töluvert minni en á aðferðum til að koma þeim upp. Þetta má annars vegar rekja til þess að tiltölulega stutt er síðan að menn áttuðu sig á þeim vanda sem tengist fari fiska niður vatnakerfi og hins vegar til þess að flóknara er að þróa skilvirkar leiðir til að koma fiskum niður fram hjá hindrunum heldur en upp (EPRI, 1994). Á síðustu áratugum hefur athyglinni verið beint í auknum mæli á afföll fiska á leið niður vatnsföll, oftast gönguseiði laxfiska á leið til sjávar. Aföllin geta verið á ferð seiða um inntakslón, vegna afráns og streitu við að fara um lón eða neðan við frárennsli virkjunar. Þorri áverka eða dauða seiða á leið þeirra til sjávar á sér stað þegar þeir fara í gegn um hverfla eða yfir stíflu á yfirfalli. Sýnt hefur verið fram á að bætt hönnun á hverflum og yfirfalli geti dregið úr áverkum og dauða á fiskum. Þá er einnig hægt að huga að rennslisstýringu þannig að hún komi fiskum sem best á þeim tíma sem þeir eru á leið niður úr ánum og til sjávar (Trussart og fleiri, 2002). Mismunandi aðferðir eru notaðar til að hjálpa fiski á niðurleið framhjá hindrunum vegna virkjana og fer það eftir tegundum og stærð fiska. Mest hefur verið unnið með búnað til að fleyta seiðum laxfiska á leið til sjávar framhjá hindrunum. Seiðafleyta (*overflow bypasses*) er búnaður sem tekur við fiski á niðurleið og á að skila honum niður fyrir virkjun á öruggan hátt. Rannsóknir benda til þess að miklu skipti að straumurinn sé þannig að seiði taki rétta stefnu í fleytur og þar með forða þeim frá inntaki virkjunar (Larinier og Travade, 1999). Í þessu samhengi er mikilvægt að þekkja hvenær von er á göngum fiska til að bregðast við á réttum tíma. Hér á landi er göngutími seiða laxfiska til sjávar á vorin eða snemmsumars (maí-júlí). Stálpaður sjóbirtingur er

fyrir á ferðinni niður og hoplax enn fyrir. Göngutími getur verið mismunandi milli ára og því mikilvægt að þekkja hver hann er í hverju tilfelli.

Smáálar (glerálar) ganga upp ár og læki að sumri en fullvaxinn áll fer til sjávar að hausti. Þekktir eru sérhannaðir álastigar til að koma smáálum upp fyrir hindranir. Til eru ýmsar aðferðir sem ætlað er að forða álum á göngu niður vatnsföll frá því að lenda í virkjunum. Álafleytur taka ála við botn og leiða þá niður fyrir virkjun. Einnig er möguleiki að veiða ála og flytja niður fyrir virkjun (Eie, 2013).

Árangur af seiðafleytum og álafleytum hefur verið misjafn (Larinier og fleiri, 2002, Eie, 2013) en töluverð þróun hefur verið í þeim í BNA.

Ef ekki er mögulegt að finna ásættanlegar leiðir til að gera göngur fiska mögulegar getur verið nauðsynlegt að stöðva rekstur virkjunar á göngutímanum.

Stýring á rennsli

Mikilvægt er að fyrir liggi hvaða breytingum virkjun veldur á rennslismynstri viðkomandi ár og hvernig megi lágmarka skaða af völdum þeirra. Jafnframt skal hafa í huga að rennsli er einn af þeim vatnafræðilegu gæðapáttum sem taka þarf til greina þegar kemur að mati á vistfræðilegu ástandi yfirborðsvatnshlota skv. lögum um stjórn vatnamála. Samkvæmt þeim skal meta vistfræðilegt ástand yfirborðsvatnshlota út frá skilgreindum líffræðilegum gæðapáttum, auk vatnsformfræðilegra og eðlisefnafræðilegra þátta. Þetta þýðir að meta þarf vatnafræðilegar breytingar t.d. í kjölfar virkjanaframkvæmda og þau áhrif sem þær hafa á vatnalíf. Sérstaklega þarf að huga að þeim tegundum sem næmastar eru fyrir slíkum breytingum.

Ein algengasta leiðin til að draga úr neikvæðum áhrifum rennslisskerðingar í farvegi vegna virkjana hefur verið að setja skilyrði um tiltekið lágmarksrennsli (Anderson og fleiri, 2014). Þessi leið hefur þó verið töluvert gagnrýnd þar sem náttúrulegar rennslissveiflur eru jafnaðar út en lífríkið hefur aðlagð sig og lífsferla sína að þeim yfir langan tíma (Poff og fleiri, 1997, Arthington og fleiri, 2006, Robson og fleiri, 2011). Í tilfelli smávirkjana hefur verið bent á að áhætta sé meiri vegna langvarandi lágrennslis þar heldur en í stærri virkjunum þar sem vatnsmagn er meira. Því þurfi að miða við hærra hlutfall af meðalrennsli eigi einungis að setja viðmið um tiltekið lágmarksrennsli (Kubecka og fleiri, 1997). Undanfarin áratug hefur þróunin verið sú að einungis eitt

skilgreint lágmarksrennsli er ekki lengur talið nóg til að vernda lífríki í virkjuðum ám heldur sé nauðsynlegt að horfa til náttúrulegs rennslismynsturs (Poff og fleiri, 1997, Arthington og fleiri, 2006). Til merkis um þetta er að árið 2014 var unnið að ritun leiðbeiningarits innan ramma vatnatilskipunar Evrópu sem fjallaði um vistfræðilegt rennsli (e. ecological flow). Þar með er gert ráð fyrir að EES löndin, og þ.m.t. Ísland, setji sér reglur um vistfræðilegt rennsli sem verði sett sem skilyrði fyrir vatnsnotkun, svo sem vatnstöku, stíflugerð eða rennslisstýringu, gerð framkvæmdaáætlana og leyfisveitingum til vatnsnotkunar. Vistfræðilegt rennsli er skilgreint út frá mismunandi rennslispáttum, svo sem lágrennsli, hárennsli, tíðni, tímasetningu og hraða rennslisbreytinga. Markmiðið með því að skilgreina vistfræðilegt rennsli fyrir virkjaðar ár er að viðhalda vatnafari vatnsfallsins nokkurn vegin í takt við það sem náttúrulegt getur talist til að lágmarka áhrif á vistkerfið (European Commission, 2015). Hafa verður í huga í þessu sambandi að rennslismynstur í ám er mjög breytilegt eftir gerð þeirra. Lindár sveiflast mjög lítið á meðan dragár og jökulár sýna mikla sveiflur í rennsli. Náttúrulegt rennsli og breytingar á því getur verið á þann veg að lítið líf þrífist í jökulám. Við virkjun í slíkum vatnsföllum getur rennsli orðið jafnara og fókstrað meira líf en áður var. Þetta verður að meta í hverju tilfelli.

Mun erfiðara er að stýra lónhæð í miðlunarlónum. Slík lón eru gerð til að geyma vatn og miðla og eftir sem miðlun er meiri er óstöðugra umhverfi fyrir lífverur í þeim. Það veltur einnig á lögun lónskálarinnar hversu mikil áhrif af miðluninni verða. Í norskum virkjanalónum hefur verið sýnt fram á að ef vatnsborðssveiflan er yfir 8-10 m hefur það veruleg áhrif á tilvist vatnabobba og vorflugur sem eru dýr sem lifa á strandsvæðum. Skötuormur er hins vegar miklu þolnari fyrir vatnsborðssveiflum og þolir jafnvel sveiflur yfir 35 m (Rogerud og Brabrand, 2010). Ólíklegt er að svona mikil sveifla sé í smærri virkjunum hér á landi, en enn er mjög lítið vitað um slíkar sveiflur í íslenskum smávirkjunum.

Hönnun hverfla

Eins og komið hefur fram geta afföll orðið töluverð þegar fiskar fara í gegnum hverfla á leið sinni niður ár og til sjávar. Þessi afföll geta verið mismunandi eftir gerð hverfla en hönnun á þeim getur skipt sköpum. Atriði sem þarf að huga að eru lögun, stærð og fjöldi blaða auk snúningshraða (Robson og fleiri, 2011). Framleiðendur gefa gjarnan upp staðla varðandi dánartölu fiska í hverflum m.t.t. stærðar þeirra. Tiltölulegar fáar

rannsóknir eru á afföllum fiska sem far um hverfla virkjana. Frances hverflar valda almennt miklum dauða (5-90%) en Kaplan hverflar mun minni (5-20%). Þekkt er að þótt fiskar lifi það af að fara um virkjanir getur það valdið auknum dauða síðar á lífsleiðinni (Robson, 2013).

Hönnun og staðsetning inntaks og útfalls

Áhrif af völdum rofs og uppsöfnunar sets geta komið fram í tengslum við hönnun og staðsetningu á inntaki og útfalli virkjunar. Ýmsir möguleikar eru í boði í þeim efnum og því er mikilvægt að huga vel að staðháttum, stærð virkjunar, fallhæð og rennsli þegar ákvarðanir eru teknar um útfærslu og staðsetningu á inntaki og útfalli virkjunar (Robson og fleiri, 2011). Sérstaklega þarf að huga að því ef framburður botnefna er í vatnsföllum en hann getur sest til í inntaks og/eða miðlunarlónum. Mögulega þarf að losa um slíkt set og því verður að meta afleiðingar þess fyrir lífríki og umhverfi. Skoða þarf mismunandi möguleika t.d. hvort losað er um farveg á neðri svæði eða efni mokað/dælt á land.

Gerð nýrra búsvæða

Ef óhjákvæmilegt er að raska mikilvægum búsvæðum eins og hrygningar- eða uppeldissvæðum fiska vegna virkjanaframkvæmda er mikilvægt að bæta það upp með því að búa til ný slík búsvæði ef það er mögulegt. Slíkt getur falist í þrengingu farvega til að viðhalda búsvæðum, útlagningu hentugs botnefnis og gerð fyrirstaða (þröskulda). Vanda þarf til aðgerða og meta hvaða aðgerðir henta á hverjum stað. Þar skiptir og máli hvaða fisktegund á í hlut. Hafa skal í huga að búsvæðaaðgerðir geta haft áhrif á tegundasamsetningu fiska.

Vöktun

Jafnvel þó ýmsar mótvægisáðgerðir vegna vatnsaflsvirkjana hafi verið þróaðar í gegnum tíðina og margar hverjar orðnar vel þekktar, er árangurinn ekki alltaf eins vel þekktur. Því getur verið erfitt að meta hvaða leið er skilvirkust eða best hverju sinni (Gibbins og fleiri, 2008). Þrátt fyrir að áhersla hafi verið lögð á að beita mótvægisáðgerðum til að draga úr neikvæðum áhrifum virkjanaframkvæmda hefur jafnan lítið verið um að árangrinum sé fylgt eftir með vöktun. Þar af leiðandi eru framfarir hægar þegar kemur að skilningi á áhrifum og árangri mótvægisáðgerða. Í tilfelli laxfiska sem lifa lengi og hafa

flókinn lífsferil miðað við aðrar vatnalífverur, er langtímavöktun nauðsynleg ef meta á með áreiðanlegum hætti raunveruleg áhrif og afleiðingar vegna virkjana og mótvægisáðgerða (Ugedal og fleiri, 2006).

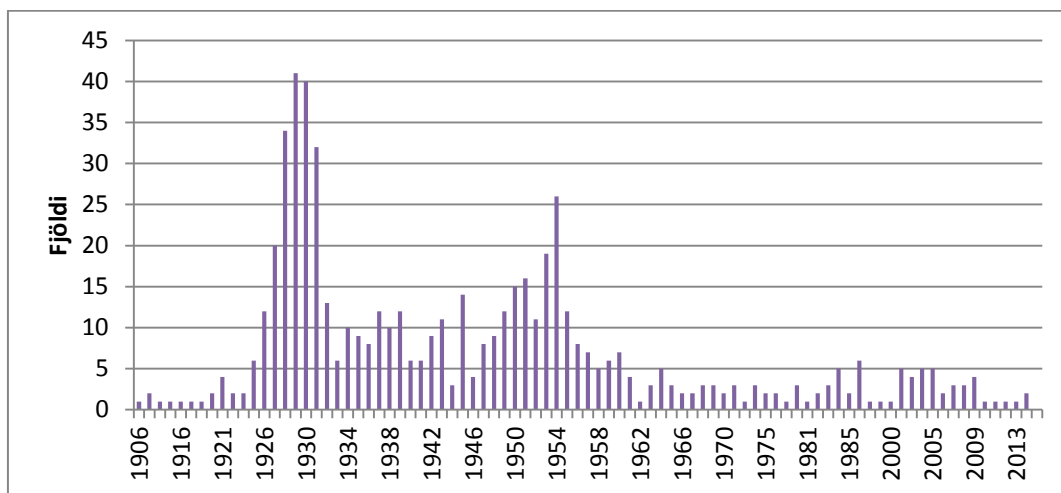
Vanda þarf til verka þegar farið er í nýjar virkjanaframkvæmdir bæði með grunnrannsóknnum á vatnalífi fyrir framkvæmdir og með vöktun þar sem sérstaklega er lagt mat á áhrif virkjunar og árangur mótvægisáðgerða. Niðurstöður slíkrar eftirfylgni munu síðan nýtast þegar kemur að því að leggja línur fyrir þær framkvæmdir sem á eftir koma, þó auðvitað fari það líka eftir gerð og eðli þess vatnakerfis sem um ræðir hverju sinni.

4. Smávirkjanir á Íslandi

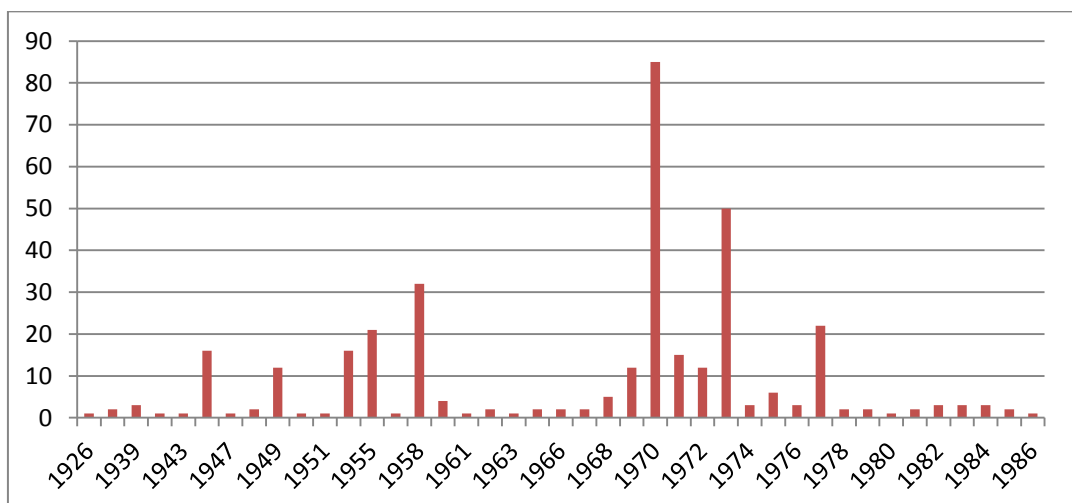
4.1. Saga, dreifing og stærð

Fyrsta vatnsaflsvirkjunin á Íslandi var reist árið 1904 í Hamarskotslæk í Hafnarfirði. Var hún 9 kw almenningsrafstöð, notuð til lýsingar í 16 húsum (Ágúst Hablaub, 1982). Fyrsta vatnaflsstöð á sveitabæ hér á landi var að Bíldsfelli í Grafningi reist árið 1912, var sú stöð 0,37 kw (Sigurjón Rist, 1990). Vatnsaflsstöðvum fjölgaði hægt í fyrstu en upp úr lokum fyrri heimstyrjaldar gáfust nýir möguleikar og rafstöðvum fjölgaði. Árið 1950 var fjöldi þeirra orðin 530, dreifðar um allt land (Benedikt Guðmundsson, 2006). Flestar voru rennslisvirkjanir, án miðlunarlóna, og mjög smáar (<30 kw) reistar við sveitabæi til eigin nota. Írafossvirkjun í Sogi, sem tók til starfa 1953 var fyrsta virkjunin sem var yfir 10 MW. Árið 1946 voru sett raforkulög og í kjölfarið var Rafmagnsveita ríkisins stofnuð sem hafði það hlutverk að rafvæða sveitirnar. Með tilkomu stærri virkjana og lagningu byggðalínu dró úr byggingu heimarafstöðva, viðhald eldri stöðva fór minnkandi og þær dröbbuðust niður og eyðilögðust (Ágúst Hablaub, 1982). Fór þeim því ört fækkandi og árið 1992 voru 175 smávirkjanir minni en 300 kW í notkun (Iðnaðar- og viðskiptaráðuneytið, 2010). Árið 2003 voru sett ný lög um raforku sem byggja á tilskipun Evrópusambandsins frá 1996 um innri markað raforku. Lögunum var ætlað að skapa forsendur fyrir samkeppni í vinnslu og sölu raforku og jókst þá virkjanaáhugi hjá landeigendum á ný. Miklar framfarir í tæknilegu tilliti og stöðugt herra raforkuverð hafa enn aukið áhuga manna á byggingu vatnsaflsvirkjana.

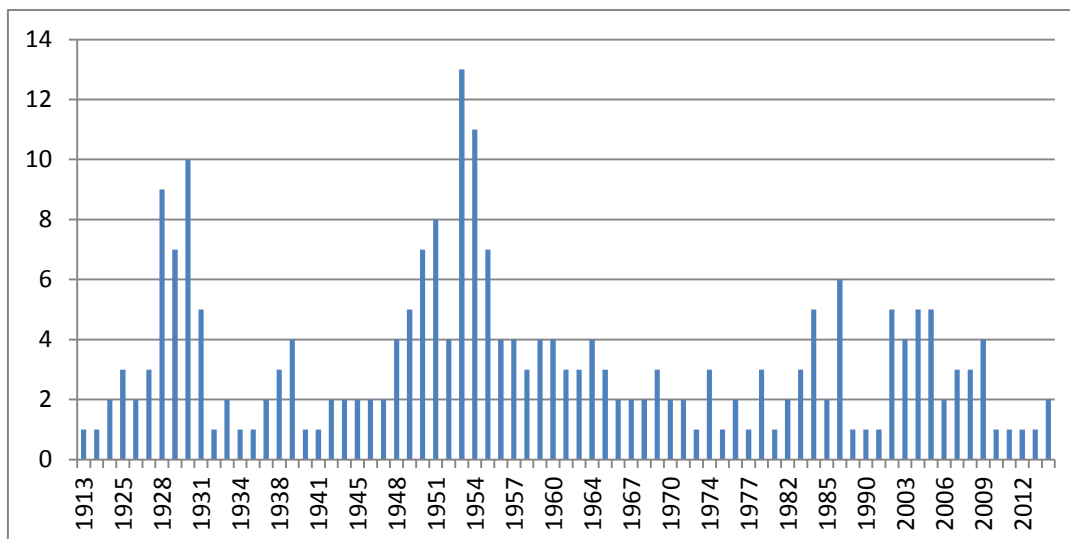
Þar sem ekki er haldið utan um málefni smávirkjana í heild á einum stað eru þær upplýsingar sem hér er unnið úr ekki tæmandi. Ekki tókst að fá haldgóð svör um hvort einhverjar smávirkjanir hafi verið lagðar niður eftir árið 1986, en líklegt verður að teljast að svo sé. Samkvæmt þeim upplýsingum sem liggja fyrir í gagnagrunni Orkustofnunar hafa á árunum 1904 til 2014 verið byggðar tæplega 600 smávirkjana í landinu (2. mynd). Margar þeirra hafa verið lagðar niður (3. mynd) en árið 2014 voru rétt um 250 smávirkjanir í rekstri. Tæpur helmingur þeirra er 60 ára eða eldri. Á árunum 2000 til 2014 voru byggðar um 40 smávirkjanir (4. mynd).



2. mynd. Fjöldi smávirkjana sem gangsettar voru á árunum 1904-2014.

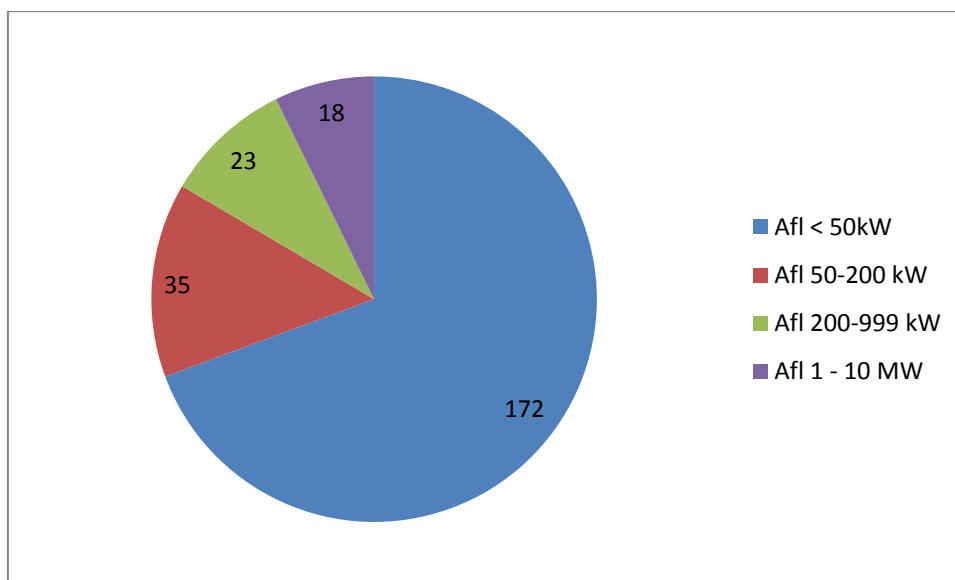


3. mynd. Fjöldi smávirkjana sem lagðar voru niður á árunum 1926-1986. Þess ber að geta að upplýsingar eftir 1986 eru ófullkomnar og líklegt verður að teljast að einhverjar smávirkjanir hafi verið lagðar niður eftir þann tíma.



4. mynd. Fjöldi smávirkjana í rekstri árið 2014 eftir stofnári.

Meðalafi smávirkjana í rekstri er 305 kW. Um 84% eru undir 200 kW og þar af leiðandi undir viðmiði tilkynningaskyldu til Skipulagsstofnunar og 70% allra smávirkjana eru 50 kW eða minni (4. mynd). Samanlagt vatnsafl þessara virkjana er um 75 MW en samanlagt uppsett afl vatnsaflsvirkjana á Íslandi eru um 1950 MW (rammi.is). Því eru smávirkjanir með um 3,8 % af uppsetu vatnsafls á Íslandi.



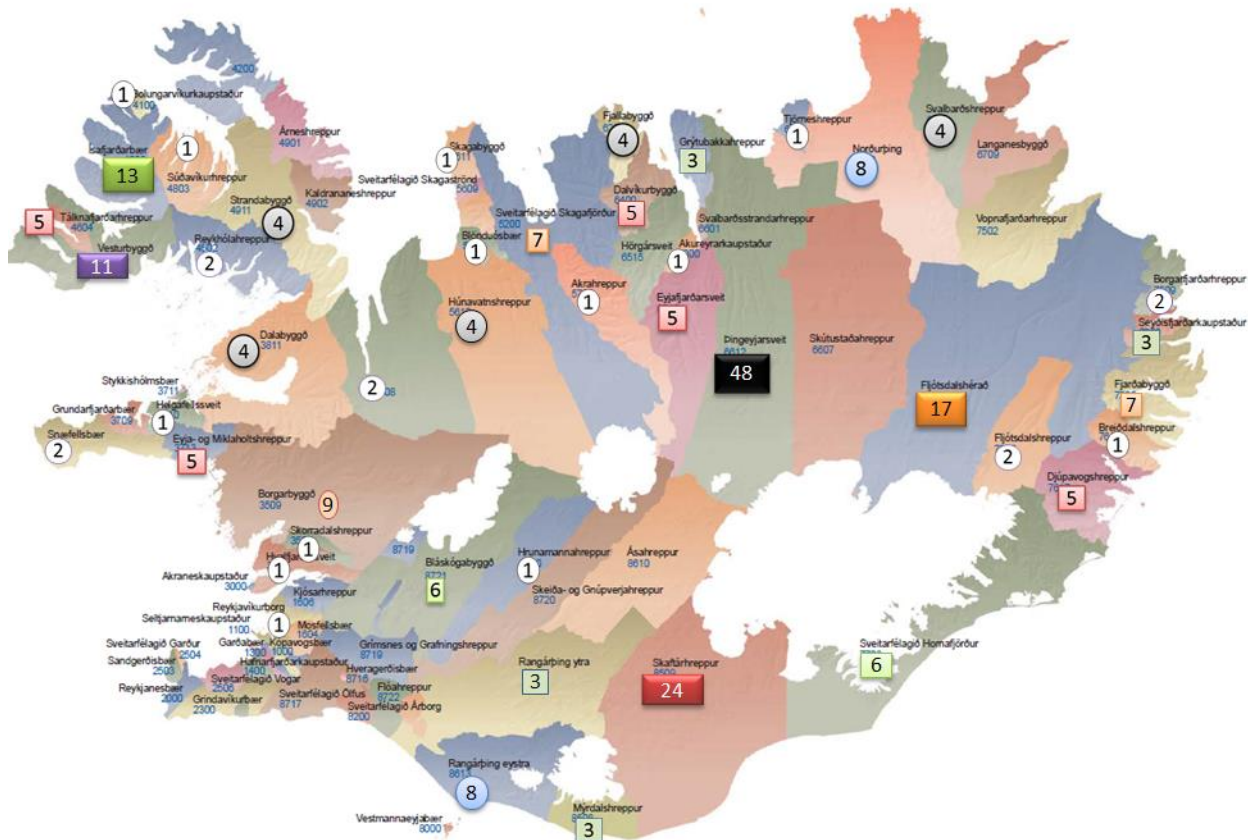
5. mynd. Fjöldi smávirkjana í rekstri eftir afli.



6. mynd. Leifar mannvirkja af aflagðri virkjun sem reist var í Varmá í Ölfusi árið 1929. Stíflumannvirkið efst á myndinni er illfært göngufiski. Ljósmynd Magnús Jóhannsson.

Eins og fram hefur komið hafa margar smærri virkjanir verið lagðar niður. Í mörgum tilfellum hafa stíflur og önnur mannvirki ekki verið fjarlægð, virkjanirnar hafa því enn áhrif á lífríki í ám þótt þær séu ekki í rekstri (6. mynd).

Misjafnt er hvernig smávirkjanir dreifast milli sveitarfélaga. Á Íslandi eru 75 sveitarfélög. Þær 248 smávirkjanir sem vitað er til að voru í rekstri árið 2014 deilast niður á 46 sveitarfélög, þar af eru 24 sveitarfélög með 1-3 smávirkjanir innanborðs. Í fimm sveitarfélögum eru fleiri en 10 smávirkjanir og í Þingeyjarsveit eru flestar, 48 smávirkjanir. Næst á eftir er Skaftárhreppur með 24, Fljótsdalshérað með 17, Ísafjarðarbær með 13 og Vesturbyggð með 11 (7. mynd, 8. mynd).



7. mynd. Fjöldi smávirkjana í rekstri árið 2014 eftir sveitarfélögum.



8. mynd. Rafstöðvarstífla í Grenlæk í Skaftárhreppi. Hluti lækjarins er leiddur um skurð til inntakslóns virkjunar. Fiskstigi er í stíflunni (vinstra megin) til að greiða leið fiska upp lækinn. Í honum er fiskteljari sem telur fisk á leið upp. Ljósmynd Magnús Jóhannsson.

4.2. Dæmi um vistfræðileg áhrif

4.2.1 Elliðaárvirkjun

Elliðaárvirkjun í Reykjavík var gangsett árið 1921 og er uppsett afl hennar 3160 kW. Árbæjarstífla var fyrst byggð yfir austurkvíslina og inntakslón myndað. Stuttu seinna var stíflan lengd og hækkuð þannig að hún náði yfir báðar kvíslarnar. Kvíslarnar neðan Árbæjarlóns urðu oft þurrar neðan stíflu, Vesturkvíslin allt til ósa og Austurkvíslin að rafstöð. Árbæjarlón stækkaði og lax komst ekki upp fyrir af sjálfsdádum. Lax var um árabíl fangaður í kistu neðan við rafstöð og hluti hans fluttur í bíl upp fyrir Árbæjarstíflu.

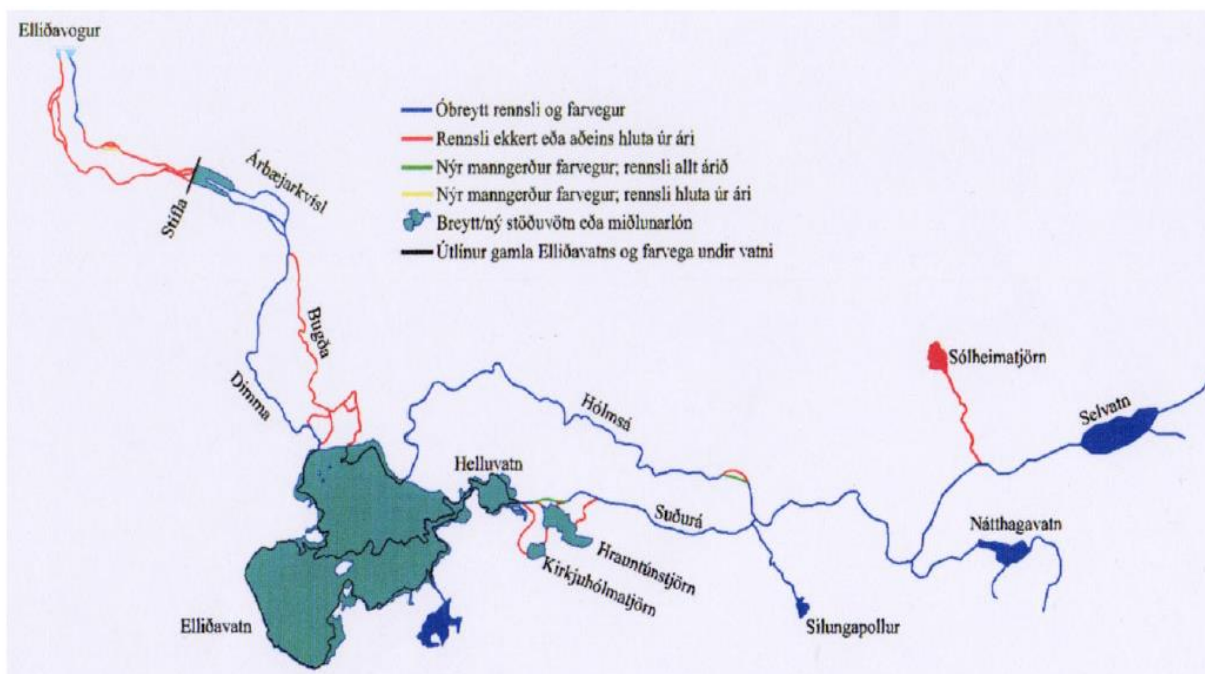
Árið 1960 var gerð tilraun með að láta laxinn ganga sjálfan upp árnar fram hjá Elliðaárstöðinni í gegn um suðurbotnrás Árbæjarstíflunnar og upp fyrir Árbæjarlón (Samband íslenskra rafveitna, 1961). Þar með var uppgangan óhindruð en á vorin tepptist niðurgöngulax í lóninu þegar hann leitaði niður ána (Ásgeir Ingólfsson, 1986).

Á árunum 1924-1928 var Elliðavatnsstífla reist sem varð til þess að Elliðavatn (og Vatnsendavatn) tvöfaldaðist að stærð og vatnsborð þess hækkaði um 1 m. Elliðavatn þjónar sem miðlunarlón fyrir Elliðaárvirkjun en miðlunin hefur mest verið um 80 cm í úrkomulitlum árum (Jón Kristjánsson, 2003). Á undanfórnum árum hefur þó miðlun einungis átt sér stað að vetri til og er vatnsborðssveiflan lítil eða jafnan innan við 10 cm á dag (Hilmar Malquist og fleiri, 2004).

Árið 1998 var gerð úttekt á röskun búsvæða í vatnakerfi Elliðaánna þar sem byggt var á korti af ánni frá árinu 1924 og svo núverandi mynd. Lagt var mat á flatarmál svæða sem höfðu ýmist, þornað upp eða farið undir vatn vegna framkvæmda. Vatnakerfinu var skipt upp í svæði og sýndu niðurstöður að á svæðinu neðan Árbæjarstíflu höfðu um 78% farvega þornað upp. Á svæðinu frá Árbæjarstíflu upp að Elliðavatni höfðu tæp 29% af farvegum þornað upp en tæp 12% farið undir lónvatn. Á svæði ofan Elliðavatnsstíflu höfðu tæp 7% þornað upp en um 27% farið undir lónvatn (Þórólfur Antonsson og Sigurður Guðjónsson, 1998).

Veruleg röskun hefur orðið á vatnasvæði Elliðaánna á þessari öld og má megnið rekja til áhrifa virkjunarinnar. Í þurrum farvegum eru annars vegar horfin búsvæði fyrir vatnalífverur og hins vegar hindrun fyrir far fiska (9. mynd). Þar sem straumvatn verður

að stöðuvatni breytist samfélagsgerð og vistkerfi frá því sem fyrir var. En það er fleira sem hefur afdrifaríkar afleiðingar á vistkerfi ána heldur en þau svæði sem ýmist hafa fara alfarið á þurrt eða undir vatn. Ónáttúrulegar rennslisbreytingar, neðst í ánum og einnig á kafla frá Elliðavatni niður að Árbæjarlóni, hafa einnig neikvæð áhrif á lífríki í vatni. Við slíkar rennslissveiflur eru grynri svæði árbotns ýmist á þurru eða undir vatni, dýpi sveiflast, samsetning botnefnis getur breyst auk áhrifa á hitastig og þar af leiðandi ísmyndun. Elliðaárvirkjun hefur á undanförunum árum verið starfrækt frá september og fram í maí og eru þá daglegar rennslissveiflur þar sem rennsli er aukið yfir daginn en minnkað yfir nóttina. En vistfræðileg áhrif þessara sveiflna á fiskstofna Elliðaána hafa ekki verið metin.



9. mynd. Breytingar sem orðið hafa á vatnakerfi Elliðaána á þessari öld af mannavöldum (Pórólfur Antonsson og Sigurður Guðjónsson, 1998).

4.2.2 Múlavirkjun

Múlavirkjun í Straumfjarðará á Snæfellsnesi var gangsett árið 2005 og er uppsett afl hennar 3177 kW. Byggðar voru tvær stíflur, önnur í útfalli Hraunsfjarðarvatns um Vatnaá og hin 200 m neðan við útfall Baulárvallavatns í Straumfjarðará (Friðþjófur Árnason og Ragnhildur Magnúsdóttir, 2012, 10. mynd). Hraunsfjarðarvatn þjónar sem miðlunarlón fyrir virkjunina og getur vatnsstaða þess orðið hærri en hún var og sveiflast vatnsborð um þann mun. Við hæstu vatnsstöðu lónsins er áætlað að 0,23 km² af þurrlandi umhverfis vatnið fari á kaf (Sigurður Már Einarsson, 2004). Tímabundin

stækkun urriðastofns Hraunsfjarðarvatns bendir til töluverðrar útskolunar næringarefna við hækkaða vatnsstöðu en stofninn hefur dregist saman aftur síðastliðin ár og virðist nú vera að ná jafnvægi. Stífla í útfalli Hraunsfjarðarvatns hefur tekið fyrir hrygningu í útfalli vatnsins (Vatnaá) en nauðsynlegt er að viðhalda rennsli um ána til að tryggja hrygningu og uppeldi seiða á neðri hluta árinna sem nýtist urriða úr Baulárvallavatni.

Inntakslón virkjunarinnar var myndað með stíflu neðan Baulárvallavatns, en það átti ekki að ná upp að Baulárvallavatni. Stíflan var byggð hærri en ráðgert var í upphafi og við hæstu vatnsstöðu nær inntakslónið lengra upp þannig að straumhraði í útfalli Baulárvallavatns getur orðið töluvert minni en áður. Hrygning og uppeldi urriðaseiða í útfalli Baulárvallavatns er því mjög takmörkuð miðað við það sem áður var. Það virðist þó enn sem komið er ekki hafa komið niður á urriðastofni Baulárvallavatns en lækirnir sem renna til vatnsins virðast standa undir þeirri nýliðun sem til þarf en þéttleiki seiða hefur aukist í þeim (Friðþjófur Árnason 2013).

Mjög skert rennsli er í farvegi frá stíflu inntakslóns og niður að frárennsli virkjunar. Búsvæði straumvatnslífvera hefur dregist þar mikið saman en á þeim litla hluta sem aldrei þornar en þéttleiki botndýra mikill. Þar sem farvegur á þessu svæði er brattur og búsvæði fiska léleg er ólíklegt að urriði hafi nýtt sér svæðið fyrir virkjun. Vitað er að straumönd nýtti sér það töluvert áður en hún hefur fært sig um set eftir virkjun án þess að það hafi haft áhrif á stofnstærð hennar. Mikilvægt er að halda lágmarksrennsli um farveginn og varast miklar og hraðar rennslisbreytingar, þar sem þær geta haft neikvæð áhrif á þau botndýr sem þarna lifa (Friðþjófur Árnason, 2013).

Rennslisbreytingar vegna Múlavirkjunar hafa margvísleg áhrif á vatnakerfi Straumfjarðarár en þar er m.a. töluvert uppeldi laxaseiða. Bent hefur verið á skerðingu rennslis frá stíflu inntakslóns og niður að útfalli virkjunar. Neðar í kerfinu hafa mestu rennslisloppar verið jafnaðir út og gera má ráð fyrir að rennsli yfir þurrkatíma hafi aukist meðan miðlunar úr Hraunsfjarðarvatni gætir. Þéttleiki laxaseiða hefur frekar aukist í Straumfjarðará frá árinu 2005 og virðist því þessi rennslisjöfnun hafa frekar jákvæð áhrif á lax í þessu tilfelli. Mikilvægast virðist að halda rennsli sem stöðugustu í gegn um virkjunina til að viðhalda lífríki Straumfjarðarár (Friðþjófur Árnason, 2013).

4.2.3 Andakílsárvirgjun

Eftir tilkomu virkjunarinnar hefur vatnsborðssveifla í Skorradalvatni aukist og orðið örari en hún var fyrir virkjun. Talið er að náttúrulegar vatnsborðssveiflur fyrir virkjun hafi verið allt að 70 cm, en eftir virkjun eru fjölmörg dæmi um 70–170 cm á 10–30 dögum og nokkur dæmi um allt að 200 cm á nokkrum vikum. Jafnan er vatnsstaða lægst og vatnsborðssveifla minnst á tímabilinu yfir sumarmánuðina (júlí–ágúst) (Hilmar Malmquist og fleiri, 2003). Auk hækkunar á vatnsborði Skorradalvatns vegna stíflumannvirkja hefur land einnig sigið í Skorradal, einkum við austanvert vatnið. Talið

er að landssig þar geti hafa numið um 20 cm á tímabilinu 1957–1992 (Gísli Már Gíslason, 1993). Með hliðsjón af landsigi og gerð stíflumannvirkja hefur möguleg hámarksstaða vatnsborðs í Skorradalsvatni hækkað um 1,3–1,5 m síðan 1947 (Hilmar Malquist og fleiri, 2003).



11. mynd. Andakílsárvirkjun í Borgarfirði. Virkjunin var gangsett árið 1947 og er uppsett afl hennar 7920 kW. Ljósmynd Magnús Jóhannsson.

Fjörubeltið er það búsvæði í Skorradalsvatni sem er undir hvað mestu álagi af völdum vatnsmiðlunar. Bæði er um að ræða óstöðugleika fyrir lífverur vegna breytilegrar vatnsstöðu, þ.e. búsvæðið þornar og blotnar á víxl, og vegna mekanískra áhrifa á lífverur og undirlag þeirra af völdum íss. Þéttleiki botndýra er í lægri kantinum miðað við vötn almennt í landinu og sambærilegt við það sem sést í vötnum upp til fjalla og þar sem vatnsmiðlunar gætir. Þá virðist sem samfélagsgerð botndýra hafi breyst en hlutdeild þeymslirfa í Skorradalavatni er með meira móti miðað við það sem gengur og gerist í stöðuvötnum, en hún hefur mælst þar mest tæp 40% (Erlín E. Jóhannsdóttir og fleiri, 2003). Þetta má mögulega rekja til þess að skilyrði fyrir rán- og einkum bogmýslirfur, sem lifa aðallega á því að skrapa þörunga af steinum og öðru föstu undirlagi, séu verri í Skorradalsvatni en víðast hvar annars staðar vegna vatnsmiðlunar. Þar af leiðandi er meira rými fyrir þeymslirfur sem eru sírarar og ekki eins háðar fæðu á föstu undirlagi og hinar tvær rykmýsundirættirnar (Hilmar Malmquist og fleiri, 2003).

Í Skorradalavatni lifa þrjár fiskitegundir. Bleikja, urriði og hornsli. Fátt bendir til að miðlunin hafi haft merkjanleg áhrif á bleikjustofna vatnsins en þó er ekki hægt að útiloka slíkt. Líklegt verður að teljast að óstöðugleiki í fjörubeltinu hafi áhrif á afkomumöguleika seiða (0+ og 1+ ára), en þau nýta fjörubeltið bæði sem matarlind og afdrep. Einnig hrygnir bleikja á strandsvæðum vatnsins og er möguleiki á að hrygningarsvæði fari á þurrt vegna miðlunar. Urriði var ekki til staðar í Skorradalavatni fyrr en honum var sleppt í vatnið á áttunda áratug síðustu aldar. Urriða var þá í tvígang sleppt í vatnið, fyrst árið 1974 og aftur árið 1976 (Hilmar Malquist og fleiri, 2003). Urriði hrygnir nær eingöngu í rennandi vatni og hrogn þroskast ekki með góðu móti nema í súrefnisríku straumvatni. Gera má ráð fyrir að útfall Andakílsár hefði nýttst urriðanum til hrygningar og seiðauppeldis hefði það verið til staðar eins og það var fyrir virkjun. Fiskvegur var síðar meir settur við stífluna í útfallinu og urriði getur þannig gengið niður í Andakílsá til hrygningar en á hinn bóginn geta seiði ekki gengið um fiskveginn upp í vatnið. Fiskgengt er milli Skorradalavatns og Fitjaár og þar er urriði. Stofnstærð urriða virðist fara mjög vaxandi í Skorradalavatni sem m.a. sést á því að hrygning og nýliðun urriða hefur aukist mjög í Fitjaánni, en þar er að finna heppileg búsvæði til hrygningar og seiðauppeldis á urriða en áin er stærsta innrennslisáin í Skorradalavatni (Sigurður Már Einarsson og Ásta Kristín Guðmundsdóttir, 2014).

Takmarkaðar rannsóknir voru gerðar á áhrifum Andakílsárvirkjunar á fiskstofna Andakílsár þar sem ekki lágu fyrir gögn um ástand svæðisins fyrir virkjun þess. Það er þó ljóst að vegna stíflumannvirkja nýtist Andakílsá neðan Skorradalavatns ekki til hrygningar og nýliðunar fyrir laxfiska (Sigurður Már Einarsson og Ásta Kristín Guðmundsdóttir, 2014).

Miðlun í Skorradalavatni jafnar líklega út rennslissveiflur sem leiðir til jafnari straumhraða og rennslis og þar af leiðandi meiri stöðugleika farvegar í Andakílsá. Slys geta orðið eins og það sem varð árið 1972 þegar stíflugarður brast og gífurleg flóð urðu í Andakílsá. Slík flóð leiða til mikils rofs á farvegi og aurburðar sem safnast fyrir í ánni. Áhrif slíkra atburða eru því án efa skaðleg fyrir lífríki árinna. Miðlunarhlóð hafa einnig áhrif á hitastig vatns sem fellur úr vatninu á þann hátt að það hitna hægar á vorin og nær tæpast sama hámarkshita og áður, þó varmi geti haldist lengur fram á haust (Sigurður Már Einarsson og Jón Örn Pálsson, 1991).

Áhrif virkjunarinnar á lífríki í vatni tengjast einnig rennslissveiflum sem geta valdið tímabundinni þurrkun farvegar Andakílsár. Það kom t.d. fyrir í nóvember 1991 að skyndilega dró úr rennsli þannig að hluti farvegarins fór á þurrt. Mörg laxaseiði fóru þá á þurrt og drápust. Slík uppþurrkun farvegar veldur verulegum skaða þar sem allir árgangar í ánni verða fyrir skakkaföllum. Þá eru áhrif á botnhryggleysingja einnig neikvæð (Sigurður Már Einarsson og Jón Örn Pálsson, 1991).

Andakílsvirkjun er byggð ofan við ófiskgengan foss, þannig að rof á samfellu í kerfinu hefur ekki áhrif á far sjógöngufisks.

5. Umræða

Áhugi á smávirkjunum fer víða vaxandi, bæði hérlandis og erlendis og er sá áhugi í takt við hækkandi raforkuverð og aukna kröfu um endurnýjanlega raforkugjafa. Ýmislegt hefur verið gert til að ýta undir frekari raforkuframleiðslu með vatnsafla og hvetja til byggingar smávirkjana, t.a.m. með orkusöluöryggi fyrir smáframleiðendur og vottun fyrir atvinnurekstur sem notar endurnýjanlega orkugjafa (Sigurður Ásbjörnsson, 2010). Þegar hefur verið minnst á námskeiðið Orkubóndann í þessu samhengi en auk þess hafa ýmis sveitarfélög, svo sem Dalvíkurbyggð og Hornafjörður verið að skoða virkjunarmöguleika á lækjum og minni ám í þeirra umdæmi.

Hluttur smávirkjana á Íslandi er 3,8% og til lengri tíma litið má ætla að hlutfall smávirkjana í raforkuframleiðslunni hér á landi verði um 6%. Þegar horft er til hlutar smávirkjana í raforkuframleiðslu vatnsaflsvirkjana í Evrópu og víðar er þetta hlutfall með því lægsta sem þekkist. Talið er að um 14.000 smávirkjanir, að meðalstærð 0,7 MW, séu starfræktar í gömlu Evrópulöndunum (EU-15) og er helmingur þeirra eldri en 50 ára. Er hluttur smávirkjana þar um 11% af raforkuframleiðslu vatnsaflsvirkjana. Um 2.800 smávirkjanir, að meðalstærð 0,3 MW eru starfræktar í nýju Evrópulöndunum (EU-10) og hluttur þeirra í virkjun vatnsafls 13%. Í þessum ríkjum eru virkjanir almennt yngri en í EU-15 löndunum en aðeins 30% þeirra eru eldri en 50 ára. Miðað við spá um þróun smávirkjana í Noregi mun hlutfall þeirra þar verða 7,5% eftir 10 ár (Benedikt Guðmundsson, 2006).

Úttektir í tengslum við smávirkjanir á Íslandi hafa fram að þessu mikið til fjallað um löggjöf þeim tengdum (Iðnaðarráðuneytið 2008), um tækni, hagkvæmni og fjármögnun

(lðnaðar og viðskiptaráðuneytið, 2000) og almennt um virkjunarmöguleika. Um það hafa verið rituð nokkur leiðbeiningarit (sjá t.d. Jóna Finndís Jónsdóttir og fleiri. 2002, lðnaðar og viðskiptaráðuneytið, 2010 og Skipulagsstofnun, 2011). Minna hefur verið einblínt á umhverfisáhrif smárra virkjana og sjaldan hefur verið ráðist í rannsóknir til að fá úr því skorið hversu mikilla áhrifa megi vænta á lífríki straumvatnsins sem til stendur að virkja (Sigurður Ásbjörnsson, 2010). Í 1. áfanga rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma, sem lauk 2003 var megin áherslan lögð á stærri vatnsaflsvirkjanir sem flestar byggjast á lónum á hálendinu og jarðhitavirkjunum nærri byggð. Í framkvæmdaáætlun ríkisstjórnar um sjálfbæra þróun til 2020 var gert ráð fyrir að í 2. áfanga rammaáætlunar yrðu áhrif smárra virkjana könnuð sérstaklega (Umhverfis- og auðlindaráðuneytið 1998). Árið 1999 skipaði lðnaðarráðherra nefnd sem kanna átti hagkvæmni þess að virkja smærri vatnsföll á bújörðum auk þess að tilgreina megin kosti og galla þess. Skýrsla nefndarinnar tók ekki til áhrifa á umhverfi að öðru leyti en að tekið var fram að „samkvæmt skilgreiningu evrópskra samtaka um vistvæna orkugjafa teljast vatnsaflsvirkjanir til raforkuframleiðslu undir 30 MW vistvænar. Ljóst er af þessu að virkjun „bæjarlækja“ telst vistvæn aðgerð hvernig sem á er litið (lðnaðar og viðskiptaráðuneytið, 2000)“. Af framangreindu má vera ljóst að mikið hefur hallað á umræðu um umhverfisáhrif smárra virkjana og þá sérstaklega m.t.t. áhrifa á lífríki í þeim ám sem á að virkja. Ástæðu þess má rekja skorts á þekkingu á vistfræðilegum áhrifum smárvirkjana en fátítt er að gerðar séu lífríkisrannsóknir fyrir framkvæmdir, sérstaklega þegar um er að ræða virkjanir sem ekki eru tilkynningaskyldar. Um 84% smárvirkjana á Íslandi eru undir 200 kW og þar af leiðandi undir viðmiði tilkynningaskyldu til Skipulagsstofnunar. Hér þarf að gera breytingu og velta má því upp hvort ekki sé þörf á að öll áform um virkjanir séu tilkynningaskyld. Í lögum um lax- og silungsveiði eru ákvæði um að leita skuli til Fiskistofu um leyfi fyrir gerð mannvirkja eða efnistöku, sem haft geta áhrif á lífríki í ám og vötnum. Þar eru einnig ákvæði um umsögn sérfræðings á sviði veiðimála um hugsanleg áhrif framkvæmdar á lífríki í vatni og getur Fiskistofa krafist þess að framkvæmdaraðili láti gera líffræðilega úttekt fyrir framkvæmdir. Þessi ákvæði í laxveiðilögum eiga að ná yfir allar framkvæmdir sem varða smáar vatnsaflsvirkjanir. Höfundar þessarar skýrslu hafa hins vegar grun um að í mörgum tilfellum hafi ekki verið leitað til Fiskistofu við byggingu smárra virkjana.

Hér hefur verið bent á að uppsett afl sé ekki góður mælikvarði á vistfræðileg áhrif vatnsaflsvirkjana. Mikilvægara sé að horfa á staðsetningu virkjunar, staðhætti og

hvernig viðkomandi vatnsfall tengist öðrum ám og stöðuvötnum. Vatnakerfin í heild sinni skipta máli og fjöldi virkjana innan þeirra. Almennt telst þekking og skráning á vistfræði Íslands vera takmörkuð til að byggja á mat á umhverfisáhrifum og í fæstum tilfellum liggur fyrir næg þekking til að byggja umhverfismat á. Við gerð stærri virkjana hefur framkvæmdaaðili alla jafna þurft að standa straum af kostnaði við grunnrannsóknir á lífríki svo mögulegt sé að framkvæma mat á umhverfisáhrifum. Mikilvægt er að gera sambærilegt mat á vistfræðilegum áhrifum smávirkjana þó það sé á smærri skala og til þess þarf einnig þekkingu. Hvað varðar lífríki í vatni þarf að meta hversu víðtækra rannsókna er þörf hverju sinni. Hún getur náð til fisks og annars lífríkis í vatni. Ekki dugir að horfa eingöngu til áhrifa af framkvæmdinni sjálfri og raski á framkvæmdatíma heldur er nauðsynlegt að skoða sérstaklega væntanleg áhrif virkjunar á rekstrartíma.

Það getur verið auðveldara að meta umhverfisáhrif lítilla virkjana og þar af leiðandi að koma með mótvægisáðgerðir gegn þeim. Skortur á því að svo sé gert er væntanlega vegna þess að ekki er skylda til þess en einnig vegna þess að aðgengi að fjármunum til slíkra úttekta á lífríki og mótvægisáðgerðum er afar takmarkað. Það má velta því upp, að ef ekki er hægt að fjármagna úttekt á staðháttum og lífríki í tengslum við virkjanaframkvæmd, óháð stærð, hve mikill raunverulegur efnahagslegur ábati er væntanlegur af framkvæmdinni og hvort hún sé réttlætanleg. Hugsanlega er þó skynsamlegt að koma til móts við takmarkað fjárhagslegt bolmagn smárra framkvæmdaraðila með því að koma upp sjóði sem raforkuframleiðendur greiða í og síðan mætti úthluta úr til mats á nýjum svæðum.

Annað sem þarf að taka með í reikninginn um leið og farið er af stað með virkjanahugmyndir, er hver skuli bera ábyrgð á því að fjarlægja virkjun að rekstri loknum. Staðan í dag er sú að enginn virðist bera þessa ábyrgð og því er mikið af gömlum „virkjanadraugum“ sem þjóna engum tilgangi en hafa skaðleg áhrif, t.d. á far fiska (6. mynd). Setja þyrfti ákvæði í lög um þessa ábyrgð og leiðir til þess að fjármagna fjarlægingu virkjanamannvirkja. Í því samhengi er mikilvægt að huga að því við hönnun virkjunar hvort áhrif hennar geti verið afturkræf.

Vinna við þetta verkefni hefur leitt í ljós hvernig smávirkjanir eru hornreka í íslenska kerfinu á margan hátt. Ekki er haldið utan um upplýsingar um þær á einum stað og við eftirgrennslan reyndist erfitt að fá nákvæmar upplýsingar um fjölda smávirkjana,

uppsett afl þeirra og staðsetningu. Í skýrslu Iðnaðarráðuneytisins (2008) kom fram að leyfisveitingar og eftirlit með smáum virkjunum væri í molum (Iðnaðarráðuneytið, 2008). Umhverfisáhrif þeirra eru sjaldan metin en geta þó verið umtalsverð í sumum tilfellum. Það er mikið verk fyrir höndum ef koma á allri umgjörð í kring um smávirkjanir í gott horf en hér hafa nú þegar verið nefndar nokkrar tillögur til úrbóta.

Í kjölfar þeirrar vinnu sem hér hefur verið unnin er æskilegt að ráðast í að vinna heildstæða og tæmandi hnitsetta skrá um smávirkjanir í rekstri á Íslandi. Slík skráning myndi skerpa á utanumhaldi um smávirkjanir, auka gagnsæi og auðvelda allar frekari úttektir eða skoðun þeim tengdum. Jafnframt er mikilvægt að gera frekari líffræðilega úttekt á áhrifum smávirkjana, sérstaklega þeim smæstu (< 1 MW) þar sem hvað minnstar upplýsingar liggja fyrir. Hægt væri að hefja leikinn með því að gera nokkuð ítarlega úttekt á takmörkuðum fjölda smávirkjana og nota þær niðurstöður til að heimfæra á aðrar. Einnig mætti meta gróflega meta áhrif hverrar og einnar smávirkjunar í rekstri á lífríki í vatni með því að styðjast við tékklista út frá upplýsingum úr virkjanaskrá.

Þakkarorð

Þakkir til, Benedikts Guðmundssonar sem veitti okkur fúslega aðgang að gögnum Orkustofnunar um smávirkjanir, Orkusjóðs sem veitti fjárstuðning til þessa verkefnis og Sigurðar Guðjónssonar, Guðna Guðbergssonar, Friðþjófs Árnasonar og Sigurðar Már Einarssonar sem lásu skýrsluna yfir í handriti.

Heimildir

Anderson, D., Moggridge, H., Warren, P. og Shucksmith, J. 2014. The impacts of 'run-of-river' hydropower on the physical and ecological condition of rivers. Water and Environment Journal. doi: 10.1111/wej.12101

Arthington, A. H., Bunn, S.E., Poff, N. L. og Naiman, R. J. 2006. The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. Ecological Applications 16 (4), 1311-1318.

Ass P., Borgström R., 1987. Vassdragsreguleringar. Í: Fisk I ferskvann. Reidar Borgström og Lars Petter Hansen (ritstj.) Osló. 347 bls.

Ágúst Hablaub, 1982. Vatnsaflsstöðvar fyrir sveitabæi á Íslandi. Rafmagnsveitur Ríkisins – RARIK. 50 bls.

Ásgeir Ingólfsson, 1986. Elliðaárnar. Ísafold.

Bakken, T.H., Aase, A. G., Hagen, D., Sundt, H., Barton, David N. and Lujala, P. 2014. Demonstrating a new framework for the comparison of environmental impacts from small- and large-scale hydropower and wind power projects. *Journal of Environmental Management* 140, 93-101.

Benedikt Guðmundsson, 2006. Smávirkjanir. Í: Orkan og samfélagið – vistvæn lífsgæði. Erindi á orkuþingi 12. og 13. október 2006, 250-257.

Behrmann-Godel, J. and Eckmann, R., 2003. A preliminary telementary study of the migration of silver European eel (*Anguilla anguilla*) in the river Mosel, Germany. *Ecology of Freshwater Fish* 12, 196-202.

Bjarni Jónsson, 2002. Evolution of diversity among Icelandic arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). *Fisheries Science*, 68, Supplement I, November 2002, 349-352.

Bjarni Jónsson og Skúli Skúlason 2000. Polymorphic segregation in Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.) from Vatnshlíðarvatn, a shallow Icelandic lake. *Biological Journal of the Linnean Society*, 69, 55-74.

Bjarni Kr. Kristjánsson, Skúli Skúlason & D.L.G. Noakes. 2002. Morphological segregation of Icelandic threespine stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.). *Biological Journal of the Linnean Society*, 76, 247-257.

Bunn, S.E., & Arthington, A.H., 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental management*, 30(4), 492-507.

Clay, C.H. 1995. *Design of Fishways and other Fish Facilities*. Boca Raton: CRC Press Inc.

Crisp, D.T. 2000. *Trout and Salmon. Ecology, Conservation and Rehabilitation*. Oxford: Blackwell Science, 16-22.

Douchette, L.I., Skúlason, S. og Snorrason, S.S., 2004. Risk of predation as a promoting factor of species divergence in threespine sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* L.). *Biological Journal of the Linnean Society*, 82, 189-203.

Edenhofer, O., Pichs, R., Madrugá, Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S., von Stechow, C.E., 2011. *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Egre, D., Milewski, J.C., 2002. The diversity of hydropower projects. *Energy Policy* 30, 1225-1230.

Eie, J.A., 2013. Vannkraft og miljø. Resultater fra FoU-programmet. Miljöbasert vannføring. NVE, 102 bls.

EPRI, 1994. *Research update on fish protection technologies for water intakes*, Stone and Webster Eng. Corp., Boston, Massachusetts, 225 bls.

Erikstad, L., Hagen, D., Evju, M., Bakkestuen, V., 2009. Utvikling av metodikk for analyse av sumvirkninger for utbygging av små kraftverk i Nordland: forprosjekt naturmiljø. Norsk institutt for naturforskning, Trondheim, 48 bls.

Erlín E. Jóhannsdóttir, Jón S. Ólafsson & Hilmar J. Malmquist, 2003. Community structure of Chironomidae larvae in the surf zone of Icelandic lakes. útdráttur og veggspjald birt á: XV International Symposium on Chironomidae. University of Minnesota, 12-15 August 2003.

ESHA 2004. *Guide on how to develop small Hydropower plant*, 294 bls.

European Commission, 2015. *Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive*. Guidance Document No. 31. 108 bls.

Friðþjófur Árnason og Ragnhildur Magnúsdóttir, 2012. Rannsóknir á urriðastofnum Hraunsfjarðarvatns og Baulárvallavatns árið 2012. Veiðimálastofnun. VMST/13011, 18 bls.

- Friðþjófur Árnason, 2013. Greinargerð um núverandi stöðu og framtíð fiskstofna á áhrifasvæði Múlavirkjunar. Veiðimálastofnun.
- Gibbins, C., Shellberg, J., Moir, H. and Soulsby, C., 2008. Hydrological influences on adult salmonid migration, spawning and embryo survival. American Fisheries Society Symposium 65, 195-223.
- Gísli Már Gíslason, 1993. Vatnsborðssveiflur í Skorradalsvatni. Skýrsla unnin fyrir Náttúruverndarráð. Ljósrit, 6 bls.
- Guðmundur Ingi Guðbrandsson og Bjarni Jónsson, 2002. Phenotypic and genetic basis of segregation in shape and life history of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the River Víðidalsá, NW-Iceland. Fisheries Science, 68, Supplement I, November 2002, 461-462.
- Guðni Guðbergsson og Ragnhildur Magnúsdóttir, 2000. Kaldakvísl og Sultartangalón. Fiskstofnar og lífríki. Veiðimálastofnun. VMST-R/0020, 20 bls.
- Hafðís Hauksdóttir, 1999. Fiskvegir á Íslandi: fjöldi þeirra, virkni og opnun á búsvæðum laxa. Aðalritgerð við Búvísindadeild. Bændaskólinn á Hvanneyri, 22 bls.
- Haro A., Castro-Santos, T. og Boubée, J., 2000. Behaviour and passage of silver-phase American eels, *Anguilla Rostrata* (LeSueur), at a small hydroelectric facility. Dana 12, 33-42.
- Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson og Haraldur Rafn Ingvason, 2003. Áhrif vatnsmiðlunar á vatnalífríki Skorradalsvatns: forkönnun og rannsóknatillögur. Náttúrufræðistofa Kópavogs, 34 bls.
- Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson og Haraldur R. Ingvason, 2004. Vöktun á lífríki Elliðavatns: Forkönnun og rannsóknatillögur. Kópavogur: Náttúrufræðistofa Kópavogs, 43 bls.
- <http://www.ramma.is/hugmyndafrædi/orkunytting/> (sótt 11.2.2015).
- Hvidsten, N.A., 1985. Mortality of pre-smolts Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brown trout, *Salmo trutta* L., caused by fluctuating water levels in the regulated River Nidelva, central Norway. J. Fish. Biol. 27, 711-718
- Iðnaðar- og viðskiptaráðuneytið, 2000. Raforkubændur, hagkvæmni, tækni, möguleikar. Rit 00-3, 19 bls.
- Iðnaðarráðuneytið 2008. Skýrsla starfshóps um smávirkjanir. 14 bls.
- Iðnaðar og viðskiptaráðuneytið, 2010. Litlar vatnsaflsvirkjanir. Kynning og leiðbeiningar um undirbúning. 2. Útgáfa. Mannvit, 105 bls.
- IEA 2000. Hydropower and the Environment: Present Context and Guidelines for Future Action. Volume I: Summary and Recommendations. Implementing Agreement for Hydropower Technologies and Programmes, Annex III, International Energy Agency, Paris, France, 182 bls.
- Jón Kristjánsson. 2003. Kortlagning riða bleikju í Elliðavatni 2001 og 2002, 4 bls.
- Jóna Finndís Jónsdóttir, Kristinn Einarsson, Snorri Zóphóníasson, Bjarni Kristinsson og Sverrir Elefsen. 2002. Leiðbeiningar um mælingar á vatnsrennsli í smáám og lækjum, 14 bls.
- Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E., 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences, 106(1), 110-127.
- Kemp, P.S., Russon, I.J. Vowles, A.S. og Lucas, M.C., 2011. The influence of discharge and temperature on the ability of upstream migrant adult river lamprey (*Lampetra fluviatilis*) to pass experimental overshoot and undershot weirs. River Res. Appl., 27, 488-498.
- Kubecka, J., Matena, J. og Hartvich, P. 1997. Adverse ecological effects of small hydropower stations in the Czech Republic. 1. Bypass plansts. Regulated Rivers: Research and Management 13, 101-113.

- Kumar, A., Schei, T., Ahenkorah, A., Rodriguez, R.C., Devernay, J.M., Freitas, M., Hall, D., Killington, A., Liu, Z., 2011. Hydropower. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1075 bls.
- Larinier, M., 2001. Environmental issues, dams and fish migration. Í: G. Marmulla, (ritstj.) Dams, Fish and Fisheries. Opportunities, Challenges and Conflict Resolution. FAO Fisheries Technical Paper 419, 45-89.
- Larinier, M., 2008. Fish passage experience at small scale hydro electric power plants in France. *Hydrobiologia* 609, 97-108.
- Larinier, M. & F. Travade, 1999. The development and evaluation of downstream bypasses for juvenile salmonids at small hydroelectric plants in France. In M. Odeh (ed.), *Fish Passage Technology*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA, 25-42.
- de Leaniz, C. G., 2008. Weir removal in salmonid streams: implications, challenges and practicalities. *Hydrobiologia* 609, 83-96.
- Lindmark, E. og Gustavsson, L. H. 2008, Field study of an attraction channel as entrance to fishways. *River Res. Applic.*, 24, 564-570.
- Lucas, M. C., Baras, E., Thom, T. J., Duncan, A., & Slavík, O., 2001. Migration of freshwater fishes. Vol. 47. Oxford: Blackwell Science, 412 bls.
- Magalef, R., 1960. Ideas for synthetic approach to the ecology of running waters. *Int. Revue des Hydrobiol. Hydrogr.* 45, 133-153.
- Magnús Jóhannsson, Benóný Jónsson, Erla Björk Örnólfsdóttir, Sigurður Guðjónsson og Ragnhildur Magnúsdóttir, 2002. Rannsóknir á lífríki Þjórsár og þveráa hennar vegna virkjana neðan Búrfells. Veiðimálastofnun VMST-S/02001, 124 bls.
- Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson, 2012. Vatnalíf og veiðinytjar á áhrifasvæði fyrirhugaðrar Búlandsvirkjunar. Veiðimálastofnun VMST/12040, 69 bls.
- Magnús Jóhannsson, Guðni Guðbergsson og Jón S. Ólafsson 2011. Lífríki Sogs. Samantekt og greining á gögnum frá árunum 1985-2008. Veiðimálastofnun VMST/11049; LV-2011/089, 112 bls.
- Merrett, S. 2007. The Thames catchment: A river basin at tipping point. *Water Policy* 9, 393-404
- NFSC. 1999. passage of juvenile and adult salmonids past columbia and snake river dams. Fish Ecology Division, North West Fisheries Service, Hydropower Program, National Marine Fisheries Service, 187 bls.
- NOU 1999. Til laks å alle kan igen gjera? Om årsaker til nedgangen i de norske villbestandene og forslag til strategier og tiltak for å bedre situasjonen. Norsk offentlige utredninger 1999:9, 297 bls.
- Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D. & Stromberg, J. C., 1997. The natural flow regime. *BioScience*, 769-784
- Poff, N. L., & Zimmerman, J. K., 2010. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology*, 55(1), 194-205.
- Robson, A., Cowx I.G., and Harvey J.P., 2011. Impact of run-of-river hydro-schemes upon fish populations. Final report. SNIFFER WFD114, 71 bls.
- Robson, A., 2013. Implications of small-scale run-of-river hydropower schemes on fish populations in Scottish streams. University of Hull, Hull, 332 bls.

- Rognerud, S. og Brabrand, Å., 2010. HydroFish-prosjektet: Sluttrapport for undersøkelsene 2007-2010. Rapport L. nr. 6082-2010. Norsk institutt for vannforskning og UiO Naturhistorisk museum, 74 bls.
- Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Wigington, R. og Braun, D.P., 1997. "How much water does a river need?" *Freshwater Biology* 37, 231-249.
- Saltveit, S. J., Bremnes, T. og Lindås. 1995. Effekt av økning i vannføring på fisk og bunndyr. LFS-prosjektet, Suldalslågen. Rapp. 17, 40 bls.
- Saltveit, S. J., Halleraker, J. H., Amekleiv, J. V. og Harby, A., 2001. Field experiments on strandind in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. *Regulated Rivers: Research and Management* 17, 609-622.
- Samband íslenzkra rafveitna, 1961. Saga Rafmagnsveitu Reykjavíkur, fylgirit með ársskýrslu 18. ár 1960. Reykjavík.
- Sigurður Ásbjörnsson, 2010. Smávirkjanir og umhverfisáhrif þeirra. Rit fræðapings landbúnaðarins 7. Árg, 249-252.
- Sigurður Már Einarsson, 2004. Umsögn vegna miðlunar úr Hraunsfjarðarvatni. Bréf.
- Sigurður Már Einarsson og Ásta Kristín Guðmundsdóttir, 2014. Búsvæði og þéttleiki laxfiska í Fitjaá í Skorradal. VMST/14048, 11 bls.
- Sigurður Már Einarsson og Jón Örn Pálsson, 1991. Áætlun um leiðir til laxaræktunar í Andakílsá, Borgarfirði. VMST-V/92001X, 13 bls.
- Sigurjón Rist, 1990. Vatnsaflsstöðvar. Í: Vatns er þörf, Sigurjón Rist, bls. 179-182. Bókaútgáfa Menningarsjóðs Reykjavíkur.
- Skipulagsstofnun, 2011. Leiðbeiningar um tilkynningaskyldar vatnsaflsvirkjanir með uppsett afl að 10MW, 15 bls.
- Skúli Skúlason, Sigurður S. Snorrason og Bjarni Jónsson. 1999. Sympatric morphs, population and speciation in freshwater fish with emphasis on arctic charr. In: Magurran, A., May, R., eds. *Evolution of Biological Diversity: from population to species*. Oxford: Oxford University Press, 70-92.
- Thorstad E.B., Økland, F., Hvidsten, N. A. , Fiske, P. og Aarestrup, K., 2003. Oppvandring av laks i forhold til redusert vannføring og lokkeflommer i regulerete vassdrag. NVE, rapport nr. 1 – 2003. Miljøbasert vannføring, 53 bls.
- Trussart, S., Messier, D., Roquet, V. and Aki, S., 2002. Hydropower projects: a review of most effective mitigation measures. *Energy Policy* 30, 1251-1259.
- Ugedal, O., Naeje, T.F., Thorstad, E.B., Forseth, T. Saksgard, L.M. and Heggberget, T.G. 2006. Twenty years of hydropower regulation in the River Alta: long term changes in abundance of juvenile and adult Atlantic salmon. *Hydrobiologia* 609, 9-23.
- Umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 1998. Sjálfbær þróun í íslensku samfélagi - framkvæmdaáætlun til aldamóta (af vef ráðuneytisins 1. 9. 2014).
- Vogt, H., 1978. An ecological and environmental survey of the humic man-made lakes in Finland. *Aqua Fennica* 8, 12 – 24.
- Ward, J.V. and Stanford, J.A., 1979. *The Ecology of Regulated Streams*. Plenum Press, New York, 35-56.
- Whitney, R.R., Coutant, C.C. og Mundy, P.R., 2006. Mitigation of Salmon Losses Due to Hydroelectric Development. Bls. 325-416 í Richard N. Williams (ritstj.), *Return to the River, Restoring Salmon to the Columbia River*. Elsevier Academic Press.

Þórólfur Antonsson og Sigurður Guðjónsson. 1998. Búsvæði laxfiska í Elliðaám. Framvinduskýrsla í lífríkisrannsóknnum. Veiðimálastofnun, VMST-R/98001, 18 bls.