

## Áhrif ræsa og brúa á ferðir fiska og búsvæði þeirra

Guðmundur Ingi Guðbrandsson<sup>1,2,\*</sup> og Bjarni Jónsson<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Veidimálastofnun, Norðurlandsdeild, <sup>2</sup>Yale School of Forestry & Environmental Studies, \*núverandi aðsetur: Landgræðsla ríkisins*

### Útdráttur

Mörgum stofnum laxfiskategunda í heiminum hefur hnignað mikið á síðustu áratugum. Ástæðurnar eru taldar margvíslegar. Meðal þeirra eru manngerðar hindranir, svo sem stíflur og árþveranir, sem geta komið í veg fyrir eða dregið úr aðgangi stofna að hrygningar- og uppeldissvæðum. Við könnuðum áhrif þriggja gerða af árþverunum (ræsa, brúa og stokka) á straumhraða og flóðfar og hvort einstakar þveranir uppfylltu forsendur fyrir fiskgengd bleikju (*Salvelinus alpinus* L.) og urriða (*Salmo trutta* L.) samkvæmt útgefnum leiðbeiningum. Brýr höfðu mun minni áhrif á alla þætti sem skoðaðir voru en aðrar þverunargerðir. Marktækar breytingar á flóðfari og straumhraða mældust við ræsi og stokka, en ekki við brýr. Yfir 80% brúa uppfylltu skilyrði fyrir fiskgengd bæði fullorðinna fiska og seiða, en aðeins 59% ræsa uppfylltu skilyrði fyrir fullorðinn fisk og 19% fyrir seiði. Hlutfall stokka sem uppfyllti ekki fiskgengdarskilyrði var mjög hátt, en sýnastærð þeirra lág. Aðalástæða þess að þverun uppfyllti ekki skilyrði fiskgengdar fyrir fullorðinn fisk var of lítið dýpi í þverun, en fyrir seiði reyndist aðalþröskuldurinn vera of hár straumhraði. Of há fallhæð við þverun og grjót við útfall voru einnig mikilvægar ástæður við ræsi og stokka. Rannsókn okkar sýnir ótvírætt að sú hættu sem stafar af árþverunum fyrir ferskvatnsfiska og jafnvel aðrar ferskvatnslífverur í ám og lækjum á Íslandi er fyrst og fremst tengd ræsum með lokuðum botni. Það er því nauðsynlegt að leggja áherslu á notkun og þróun þverana með opinn botn og víða spönn. Umhverfisvæn hönnun og framkvæmdir við árþveranir eru afar mikilvægar þáttur í verndun og endurheimt margra stofna ferskvatnsfiska og í þróun samgöngubóta í heiminum.

### Inngangur

Miklar breytingar hafa orðið á mörgum ferskvatnsvistkerfum vegna athafna mannsins. Stofnstærðir margra villtra stofna laxfiska hafa víða minnkað stórlega og margir stofnar hafa útrýmst (t.d. NRC 1996). Þar kemur margt til, m.a. breytingar á árfarvegum af mannavöldum og virkjanir fallvatna og hindranir þeirra vegna. Áhrif vegagerðar hafa einnig verið mikil, bæði vegna malartekju í ám og lækjum svo og brúa- og ræsagerðar.

Ein helsta hættan sem fylgir þverun vatnsfalla í vegagerð er að ferðir fiska og smærri vatnadýra takmarkist eða séu jafnvel alveg hindraðar og mikilvæg uppvaxtar- og hrygningarbúsvæði skerðist (Vaughan 2002; Warren og Pardew 1998; Harper og Quigley 2000; Wheeler o.fl. 2005). Á Íslandi hefur mun meiri aðgát verið höfð við að brúa stærri vatnsföll, sérstaklega ef um er að ræða mikilvægar veiðiár, heldur en við þveranir minni áa og lækja (Bjarni Jónsson 2005). Ástæðan er ekki síst vegna takmarkaðrar þekkingar á lífríki hinna síðarnefndu. Hliðarár og minni lækir eru hins vegar gjarnan mikilvæg uppvaxtarsvæði laxfiskaseiða (Erkinaro o.fl. 1998). Urriði og bleikja hrygna oft í slíkum

vatnsföllum og í þeim getur verið að finna sérstaka undirstofna innan vatnakerfanna (Bjarni Jónsson o.fl. 2002). Þá er algengt að laxaseiði gangi upp í hliðarar og minni læki og nýti sér þau búsvæði til vaxtar (Erkinaro o.fl. 1998), auk þess sem þar er stundum að finna straumvatnshornsíli.

Áhrif árþverana á vatnakerfi geta verið margvísleg. Mengun á greiða leið í ár og læki um þveranir, og breytingar á rennsli við þveranir getur haft áhrif á flóðfar og árfar (Wheeler o.fl. 2005). Sýnt hefur verið fram á að þveranir, sérlega ræsi, valda oft beinu tapi á búsvæðum (Harper og Quigley 2000), hafa áhrif á náttúrulega þróun árfars og á flutning setefna (Wheeler o.fl. 2005). Í Kanada og Alaska hafa rannsóknir leitt í ljós að víða hindra ræsi ferðir fiska í 50-85% tilvika (Flanders og Cariello 2000; Gibson o.fl. 2005). Notkun ræsa í vegagerð hefur aukist mikið á undanförunum árum og er í sókn sökum þess að þetta er fjárhagslega hagkvæm lausn miðað við margar aðrar og er talin auka umferðaröryggi. Þrátt fyrir stórauðna notkun ræsa í vegagerð á Íslandi hafa áhrif þeirra á lífríki vatnsfalla þó ekki verið rannsökuð fyrr en nú.

Markmiðið með rannsóknum á áhrifum árþverana á vatnalíf á Íslandi er að átta sig á umfangi þeirra og eðli og byggja á því grunn að umbótum, fræðslu og tillögum er miða að því að velja hentugar lausnir og bæta vinnulag við ræsa-og brúagerð hérlendis. Það er brýnt að kanna áhrif mismunandi þverunargerða á vatnalíf. Í þessum hluta rannsóknarinnar könnuðum við og bárum saman áhrif þriggja mismunandi þverunargerða á straumhraða og flóðfar og hvernig þessar gerðir uppfylltu fiskgengdarskilyrði fyrir urriða og bleikju samkvæmt útgefnum erlendum leiðbeiningum.

## Aðferðir

Þrjú meginsvæði voru valin til athugunar, austanvert vatnasvið Héraðsvatna í Skagafirði, vatnasvið Fljótaár og Miklavatns og svæði frá Asparvíkurdal og norður í Norðurfjörð á Ströndum. Ekki reyndist mikill munur á áhrifum þverana eftir svæðum (Guðmundur Ingi Guðbrandsson o.fl. 2005) og því eru niðurstöður teknar saman fyrir öll svæði hérna. Alls voru 56 þveranir í 32 vatnsföllum kannaðar í júlí og ágúst 2005. Hver þverun var heimsótt einu sinni.

Þveranir voru flokkaðar í þrjár gerðir: sívalningslaga bylgjujárnsrör (n=31; hér eftir kölluð ræsi), brýr með náttúrulegum botni (n=21) og opna stokka (n=4) einnig með náttúrulegum botni. Breidd (m) þverunar var mæld sem sú breidd sem leyfir hámarksflæði vatns um þverunina. Fyrir ræsi var þetta því þvermál þeirra en breidd stokka var mæld þar sem hún var breiðust (yfirleitt niður við árbotn). Breidd brúa var fjarlægðin milli ystu brúarstöpla (í raun lengd brúa). Lengd (m) ræsa og stokka var mæld milli inntaks og útfalls þeirra. Straumhraði (m/s) var mældur við 40% dýpi með mæli af gerðinni Marsh-McBirney FloMate Model 2000 yfir 15sek tímabil á hverjum mælistað og meðaltal mælinga yfir þann tíma skráð. Í ræsum var straumhraðinn mældur á þremur stöðum við bæði inntak og útfall, þ.e. í miðjunni og til hliðanna. Vatnsdýpi (m) var mælt við inntak og útfall ræsa og stokka og einnig fyrir miðri þverun ef það var hægt. Þar sem að ræsi voru sívalningslaga var dýpið mælt fyrir miðju röri (hámarksdýpt). Við stokka og brýr var vatnsdýpi og straumhraði mæld á tveggja til þriggja metra fresti yfir árfarið, og fyrstu og síðustu mælingar gerðar einum metra frá árbakka (sjá Þórólf Antonsson 2000). Í þeim

tilvikum þegar breidd þverunar var minni en þrjú metrar, voru þrjár mælingar teknar yfir alla breiddina. Mesta dýpi var einnig mælt. Ef um fallhæð niður úr þverun á vatnsflöt við útfall var að ræða, var hún mæld (m) og einnig var dýpi hylja (ef til staðar) mælt (m) undir fallhæð.

Þversnið voru lögð út ofan og neðan við þveranir, utan sýnilegra áhrifasvæða þeirra. Dýpi og straumhraði voru mæld eins og fyrir brýr, en einnig flóðfar (e. bankfull width). Flóðfar var skilgreint sem sú breidd árfarvegs sem vatn flæðir um þegar rennsli fyllir alla breidd árfarvegsins án þess að vatn flæði inn á aðliggjandi flæðilönd (t.d. Mount 1995).

Áhrif þverana á vatnsföll voru könnuð með því að reikna út tvö hlutföll: 1) möguleg þrenging þverunar að flóðfari var metin með svokölluðu þrengingarhlutfalli, þ.e.a.s. hlutfalli hámarksbreiddar þverana af meðaltali flóðfarsmælinga ofan og neðan þverunar, og 2) áhrif á straumhraða voru könnuð með því að reikna út meðalstraumhraðahlutfall, þ.e. hlutfall meðalstraumhraða inni í (ræsi/stokkar) eða undir (brýr) þverunarmannvirki af meðalstraumhraða ofan og neðan þverunar. Þrengingarhlutfallið 1:1 þýddi að hámarksbreidd þverunar var hin sama og meðaltal flóðfarsmælinga ofan og neðan hennar og því að þverun þrengdi ekki að flóðfari. Á sama hátt þýddi meðalstraumhraðahlutfallið 1:1 að straumhraði var sá sami í eða undir þverunarmannvirki og í vatnsfallinu sjálfu utan áhrifasvæðis þverunar. Einhliða t-próf var notað til að kanna hvort meðalhlutfall hvorrar þverunargerðar væri frábrugðið meðaltalinu 1, þ.e. hlutfallinu 1:1 sem lýsir engum áhrifum (one-sample t-test, test with mean=1). Einþátta ANOVA og Tukey's samanburður var notað til að bera saman meðalhlutföll milli mismunandi þverunargerða. Allur tölfræðilegur samanburður var gerður með hjálp tölfræðiforritanna SPSS 13.0 og Minitab 14.0.

Forsendur sem þveranir þurftu að uppfylla til að teljast fiskgengar voru byggðar á nokkrum leiðbeiningaritum fyrir far laxfiska um ræsi (NMFS 2001; Poulin og Argent 1997; Powers o.fl. 1997; Bates o.fl. 2003; Gibson o.fl. 2005). Þessar forsendur miða við að veikasti og minnsti einstaklingur viðkomandi tegundar komist um þverun (t.d. Bates o.fl. 2003). Sömu forsendur voru notaðar fyrir urriða og bleikju, en greint á milli fullorðinna fiska og seiða. Þær breytur sem notaðar voru til að ákvarða fiskgengd voru: meðalstraumhraði, meðaldýpi, fallhæð við útfall, hylur undir fallhæð ef hún var til staðar og hindranir við inntak eða útfall, s.s. grjóthnullungar. Tafla 1 sýnir lágmark eða hámark þessara breyta (eftir því sem við á). Gildi fyrir þessar breytur fyrir hverja þverun voru síðan borin saman við skilyrðin í töflu 1 og fiskgengd ákvörðuð. Einnig var kannað hvort það myndi hafa áhrif á fjölda þverana sem ekki uppfylltu skilyrði ef notað væri hámarksvatnsdýpi og lágmarksstraumhraði þverananna til samanburðar við skilyrðin, en þessir þættir geta skipt miklu máli fyrir far fiska.

**1. tafla.** Forsendur til ákvörðunar á fiskgengd þverana fyrir fullorðinn fisk og seiði urriða og bleikju voru eftirfarandi lágmarks meðalvatnsdýpi (Gibson o.fl. 2005; NMFS 2001), hámarks meðalstraumhraði (Powers o.fl. 1997; Poulin og Argent 1997; Bates o.fl. 2003), hámarks fallhæð (NMFS 2001) og lágmarks dýpi hyljar undir fallhæð, ef hún var til staðar (NMFS 2001). Fimmta forsendan var að engar hindranir, svo sem grjóthnullungar, væru við þveranir. Forsendur eru sýndar fyrir mismunandi lengdarflokka þverana.

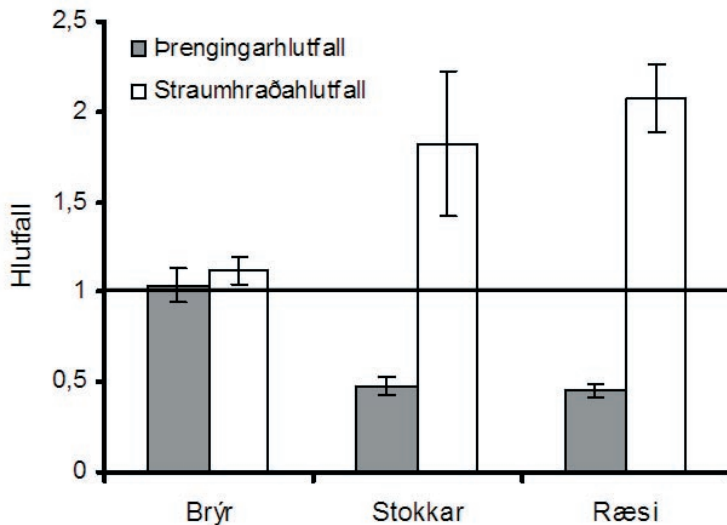
Lengd þverunar (m)	Fullorðinn fiskur				Seiði			
	Vatns- dýpi (m)	Straum- hraði (m/s)	Fallhæð (m)	Hylur (m)	Vatns- dýpi (m)	Straum- hraði (m/s)	Fallhæð (m)	Hylur (m)
0 - 30		1,2				0,34 or 0,6 <sup>a</sup>		
30 - 60	0,2	0,9	0,3	0,6	0,15	<sup>b</sup>	0,15	0,6

<sup>a</sup>0.34m/s gildir fyrir þveranir án náttúrulegs botns (öll ræsi) og 0.6m/s fyrir þveranir með náttúrulegum botni (brýr og stokkar).

<sup>b</sup>ef ræsi >30m á lengd verður botn þverunarinnar að líkja eftir botni vatnsfalls ofan og neðan þverunar.

## Niðurstöður

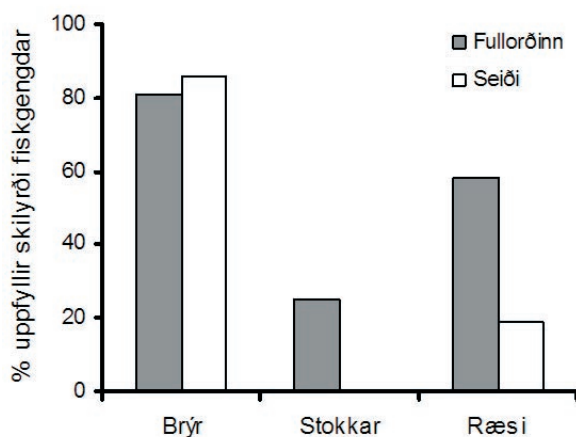
Áhrif þverana á flóðfar og straumhraða fór mikið eftir gerð þverunar (1. mynd). Ræsi og stokkar þrengdu að flóðfari og straumhraði jókst um þau, en brýr höfðu ekki marktæk áhrif á þessa þætti ( $P>0,05$ ). Meðalþrengingarhlutfall ræsa ( $0,45:1 \pm 0,04SE$ ) og stokka ( $0,48:1 \pm 0,05SE$ ) voru marktækt frábrugðin hlutfallinu 1:1 (ræsi:  $t_{30}=-13,5$ ,  $P<0,001$  og stokkar:  $t_3=-10,2$ ,  $P<0,002$ ). Meðalstraumhraðahlutfall í ræsum var marktækt frábrugðið hlutfallinu 1:1 ( $t_{30}=5,7$ ,  $P<0,001$ ; hlutfall =  $2,08 \pm 0,19SE$ ), en ekki í stokkum ( $P>0,05$ ; hlutfall =  $1,83:1$ ). Marktækur munur fannst á milli þverunargerða fyrir bæði hlutföllin (þrengingarhlutfall:  $F=21,9$ ,  $df=2,53$ ,  $P<0,001$ ; straumhraðahlutfall:  $F=7,54$ ,  $df=2,51$ ,  $P=0,001$ ). Tukey samanburður leiddi í ljós að fyrir þrengingarhlutfall skáru brýr sig frá bæði ræsum ( $P=0,001$ ) og stokkum ( $P=0,006$ ), en fyrir straumhraðahlutfallið var einungis marktækur munur milli brúa og ræsa ( $P=0,001$ ).



1. mynd. Áhrif þriggja mismunandi þveranargerða á flóðfar og straumhraða í júlí og ágúst 2005, sýnt með meðalþrengingarhlutfalli og meðalstraumhraðahlutfalli. Línan sýnir hlutfall engra áhrifa (1:1). Gögn eru meðaltöl  $\pm$  1 staðalskekkja.

Gerð þverunar hafði mikil áhrif á hvort þverun uppfyllti forsendur fyrir fiskgengd (2. mynd). Yfir 80% allra brúa uppfyllti forsendur fyrir bæði fullorðinn fisk og seiði, en hlutfallið var mun lægra fyrir ræsi og einnig mismunandi fyrir fullorðinn fisk (59%) og seiði (19%). Engir stokkar uppfylltu skilyrði fyrir fiskgengd seiða en 25% fyrir fullorðinn fisk. Þegar hámarks vatnsdýpi og lágmarks straumhraði við þveranir var notað til að bera saman við forsendur fyrir fiskgengd, hækkaði hlutfalla brúa sem uppfylltu skilyrði upp í 100% fyrir bæði fullorðinn fisk og seiði, og um 20-25% fyrir seiði við stokka og ræsi.

Vatnsdýpi var sú forsenda sem síst var uppfyllt fyrir fullorðinn fisk og straumhraði fyrir seiði. Þetta var óháð þverunargerð. Fallhæð við útfall fannst við 39% ræsa, 75% stokka, en ekki við neina brú. Einungis helmingur stokka uppfyllti skilyrði fyrir fallhæð, og um 75% ræsa. Dýpi hyljar neðan fallhæðar var víðast hvar ekki vandamál, en hindranir voru við nokkur ræsi. Það var talsvert algengt að sama þverunin uppfyllti ekki fleiri en eitt skilyrði.



**2. mynd.** Hlutfall þriggja þverunargerða sem uppfylltu skilyrði fyrir fiskgengd fullorðins fisks og seiða bleikju og urriða í júlí og ágúst 2005.

## Umræður

Mikill munur reyndist vera á áhrifum mismunandi þverunargerða, og kom þetta sérstaklega vel fram fyrir brýr og ræsi. Stokkar voru fáir í rannsókninni og niðurstöður fyrir þá skipta því minna máli. Ræsi hafa mun meiri áhrif en brýr á alla þá þætti sem kannaðir voru. Þau þrengja mikið að flóðfari og straumhraði um þau er mun meiri en í árfari ofan og neðan þeirra. Fyrir sömu þætti virðast brýr ekki hafa nein marktæk áhrif og brýr uppfylltu skilyrði fyrir fiskgengd mun betur en ræsi. Rannsókn okkar sýnir þess vegna að áhrif brúa eru lítilsháttar og að hættur sem stöðja að ferskvatnsvistkerfum vegna þverunar vatnsfalla eru því fyrst og fremst tengd ræsum. Þessar niðurstöður veita mjög mikilvægar upplýsingar fyrir verndun og nýtingu laxfiskastofna, sérlega í ljósi aukinnar notkunar ræsa á síðustu árum.

Þrenging árfars og flóðfars vegna ræsagerðar getur haft áhrif á hreyfingar í árbotninum ofan og neðan ræsis og aukið setmyndun (Wheeler o.fl. 2005). Til þess að leyfa árfarvegi að þróast innan ræsisins og til að forðast áhrif á árfarveginn ofan og neðan þeirra mæla

Bates o.fl. (2003) með því að breidd í botni ræsa sé í minnsta lagi 1,2 x breidd flóðfars + 0,6m. Ekkert ræsanna í þessari rannsókn uppfyllti þetta, og var þvermál þeirra um tvisvar sinnum minna en flóðfar (1. mynd).

Þegar þrengt er að árfari með niðursetningu þverunar getur straumhraði aukist í gegnum hana miðað við svæði ofan og neðan hennar (Larinier 2002). Aukning á straumhraða í vatnsföllum við þveranir getur haft mikil áhrif á lífríki í viðkomandi vatnsfalli (Wheeler o.fl. 2005). Straumhraði breytist síður þar sem brýr eru notaðar en öðru máli gegnir um þau ræsi sem þrengja að árfari, eins og rannsókn okkar sýndi. Náttúruleg botngerð eða botngerð sem líkir eftir slíkri dregur úr straumhraða og lygnur eða hvíldarstaðir ná að myndast inn á milli, sem ekki gerist í einsleitu straumfari ræsa án náttúrulegs botns. Þetta sást vel í þessari rannsókn, þar sem straumhraði var mun minni undir brúm og í stokkum heldur en í ræsum þar sem hann var að meðaltali meira en tvisvar sinnum hærri en ofan og neðan þeirra (1. mynd). Þetta getur haft mikil áhrif á ferðir fiska upp ræsi (t.d. Gibson o.fl. 2005; Larinier 2002). Of hár straumhraði var einmitt algengasta orsök þess að þveranir uppfylltu ekki skilyrði fyrir fiskgengd seiða. Áhrifin á fullorðna fiska voru hins vegar mun minni, en ónægt dýpi hafði víðtækust áhrif á fullorðna fiskinn. Rannsóknir erlendis hafa sýnt að þessir tveir þættir hafa mikil áhrif á far fiska um ræsi (Warren og Pardew 1998; Gibson o.fl. 2005). Með því að tryggja að þveranir þrengi ekki að vatnsföllum má halda áhrifum á náttúrulegar hreyfingar í lágmarki svo þau megi þróast á eðlilegum forsendum.

Aðrir þættir sem höfðu marktæk áhrif á fiskgengd um þveranir í þessari rannsókn voru of há fallhæð og grjóthindranir fyrir fram útfall ræsa. Slíkt er einnig vel þekkt erlendis frá (Gibson o.fl. 2005). Athygli vakti hversu algengt var að fleiri en einn þáttur kæmi í veg fyrir fiskgengd við eitt og sama ræsið í okkar rannsókn og bendir til þess að meginástæður þessa sé hvernig hönnun er háttað og skortur á umhverfisvitund við niðursetningu og frágang ræsa. Munurinn á milli brúa og annarra þverunargerða sýnir skýrt að áhrifum má halda í lágmarki með góðri hönnun og niðursetningu þverana sem stuðla að sem minnstum áhrifum á árfarveg og þróun hans.

Úttekt okkar var gerð þegar vænta má venjulegs sumarrennslis og þess vegna er mögulegt að sumar þveranir sem uppfylltu ekki forsendur fiskgengdar geri það á öðrum árstímum. Sérlega gæti þetta verið mikilvægt fyrir sjögöngustofna þar sem að rennslí er oft meira á göngutíma á haustin. Þetta myndi frekar eiga við fyrir brýr en aðrar þverunargerðir því að eina skilyrðið sem þær uppfylltu ekki fyrir fullorðinn fisk var vatnsdýpt.

Tap á búsvæði verður oft þegar að þverun er sett niður í vatnsfall. Þrátt fyrir að það svæði sem tapast sé yfirleitt ekki stór hluti heildarbúsvæðis vatnadýra í vatnsfalli, þá eru t.d. ræsi oft sett niður á grynningum (Gibson o.fl. 2005) sem eru mikilvægar fyrir framleiðni margra hryggleysingjastofna og því mikilvægar fæðustöðvar fiska. Langflest ræsi í okkar úttekt voru einmitt sett niður á grynningum. Auk þess fundum við út að mun meira af búsvæði fór undir þverunarmannvirki þegar um ræsi var að ræða en brýr (Guðmundur Ingi Guðbrandsson o.fl. 2005).

Það er enn alvarlegra þegar að þveranir valda tapi á búsvæðum fyrir sjögöngustofna ofan þverana, en t.d. rannsóknir Beechie o.fl. (1994) bentu til þess að vegna ræsa og annarra manngerðra hindrana hefði gönguseiðaframléiðsla *Oncorhynchus kisutch* í Skagit River í Bandaríkjunum dregist saman um 24-34%. Okkar rannsóknir hafa bent



til þess að sjógöngustofnar bleikju og urriða í átta vatnsföllum á rannsóknarsvæðunum hafi misst 40-90% af búsvæðum sínum (Guðmundur Ingi Guðbrandsson o.fl. 2005). Að tengja aftur saman slík uppskipt búsvæði hefur verið talin ein af mikilvægustu aðgerðum í endurheimt sjógöngustofna (Roni o.fl. 2002). Þó svo að þau áhrif sem hér er um rætt hafi miðað við urriða og bleikju, má leiða líkur að því að þau eigi líka við um aðra ferskvatnsfiska á Íslandi. Einnig má víst telja að þær þveranir sem hamla fari fiska hindri einnig að enn minni lífverur sem hafa lífsferil sinn eingöngu í vatni komist þær (Vaughan 2002).

Lífssaga íslenskra laxfiskategunda er mjög fjölbreytt innan tegunda og stofnar eru oft litlir og staðbundnir (Skúli Skúlason o.fl. 1999; Bjarni Jónsson 2002; Guðmundur Ingi Guðbrandsson og Bjarni Jónsson 2002). Litlir stofnar eru taldir viðkvæmari fyrir uppskiptingu búsvæða, bæði erfðafræðilega séð, og auk þess eiga þeir erfðara með að þola raskanir í umhverfinu sem hafa áhrif á stofnstærðir þeirra. Rannsóknir á áhrifum hindrana á laxfiskastofna hafa sýnt að þar sem hólfun stofna hefur orðið getur það leitt til minni erfðabreytileika í stofni (Wofford o.fl. 2005). Sökum hins mikla fjölbreytileika innan tegunda ferskvatnsfiska á Íslandi er líklegt að áhrif ræsa á framtíðar lífslíkur lítilla stofna geti verið mjög alvarlegar. Þess vegna þarf að gefa þessari hættu mun meiri gaum en gert hefur verið á Íslandi til þessa.

Rannsókn okkar sýnir að umfang þess vandamáls sem skapast fyrir ferðir fiska um þveranir í ám og lækjum á Íslandi er víðfemt. Vandamálið er ekki síst alvarlegt í ljósi þess að ræsi hafa undanfarin ár verið notuð í auknum mæli við þveranir vatnsfalla bæði í vegagerð og landbúnaði. Í ljósi niðurstaðna okkar ráðleggjum við að notkun lokaðra ræsa verði takmörkuð til muna og forðast að nota þau í vatnsföll sem fósra fisk. Auka þarf þróun og notkun þverana með opnum botni og víðri spönn þar sem slíkar þveranir virðast hafa mun minni neikvæð umhverfisáhrif en þveranir með lokuðum botni. Mikilvægt er að fræðslu- og umbótastarf nái til allra þeirra sem stunda vegagerð. Umhverfisvæn hönnun og framkvæmdir við árþveranir eru afar mikilvægur þáttur í verndun og endurheimt margra stofna ferskvatnsfiska og mikilvægur liður í farsælum samgöngubótum.

## Heimildir

Bates, K., Barnard, MRJ., Heiner, B., Klavas, JP. og Powers, PD. 2003. Design of road culverts for fish passage. Washington Department of Fish and Wildlife, Olympia. 110 bls.

Beechie, T., Beamer, E. and Wasserman, L. 1994. Estimating coho salmon rearing habitat and smolt production losses in a large river basin, and implications for habitat restoration. *North American Journal of Fisheries Management*, **14**, 797-811.

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

Bjarni Jónsson 2005. Áhrif ræsagerðar á ferðir göngufiska og líffræðilegan fjölbreytileika. *Freyr*, 101, 24-25.

Bjarni Jónsson, Eik Elfarsdóttir, Elin R. Guðnadóttir og Hjalti Þórðarson, 2002. Búsvæðamat og útbreiðsla sjöbleikju á vatnasvæði Héraðsvatna. Skýrsla Veiðimálastofnunar VMST-N/0221. 32 bls.

Erkinaro, J., Julkunen, M. og Niemelä, E. 1998. Migration of juvenile Atlantic salmon *Salmo salar* in small tributaries of the subarctic River Tenö, northern Finland. *Aquaculture*, **168**, 105-119.

- Flanders, L.S. og Cariello, J. 2000. Tongass road condition report. Alaska Department of Fish and Game Technical Report No. 00-7. 48 bls.
- Gibson, R.J., Haedrich, R.L. & Wernerheim, C.M. 2005. Loss of fish habitat as a consequence of inappropriately constructed stream crossings. *Fisheries*, 30, 10-17.
- 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 Vididalsá, NW-Iceland. *Fisheries Science*, Supplement, November 2002.
- Guðmundur Ingi Guðbrandsson, Bjarni Jónsson, Eik Elfarsdóttir og Karl Bjarnason. 2005. Áhrif brúa- og ræsagerðar á ferðir ferskvatnsfiska og búsvæði þeirra. Veðimálastofnun, Norðurlandsdeild, Skýrsla VMST-N/0503.
- Harper, D.J. og Quigley, J.T. 2000. No net loss of fish habitat: an audit of Forest Road Crossings of Fish-bearing streams in British Columbia, 1996-1999. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2319, 43 bls.
- Lariner, M. 2002. Fish passage through culverts, rock weirs and estuarine obstructions. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*, 364 suppl., 119-134.
- Mount, J.F. 1995. *California Rivers and Streams. The conflict between fluvial process and land use*. University of California Press, Berkeley, USA. 359 bls.
- NMFS (National Marine Fisheries Service). 2001. Guidelines for salmonid passage at stream crossings.
- NRC (National Research Council). 1996. *Upstream: salmon and society in the Pacific Northwest* (Executive Summary). Committee on Protection and Management of Pacific Northwest Anadromous Salmonids. National Academy of Science, Washington, DC. Retrieved online on April 28 2006, URL: <http://www.nap.edu/catalog/4976.html>.
- Poulin, V.A. og Argent, H.W. 1997. *Stream crossing guidebook for fish streams*. V.A. Poulin and Associates, Vancouver, B.C. 80 bls.
- Powers, P.D., Bates, K., Burns, T., Gowen, B. og Whitney, R. 1997. Culvert hydraulics related to upstream juvenile salmon passage. *Washington Department of Fish and Wildlife*, Olympia, Washington.
- Roni, P., Beechie, T.J., Bilby, R.E., Leonetti, F.E., Pollock, M.M. og Pess, G.R. 2002. A review of stream restoration techniques and a hierarchical strategy for prioritizing restoration in Pacific Northwest watersheds. *North American Journal of Fisheries Management*, 22, 1-20.
- 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.
- Vaughan, M.D. 2002. Potential impact of road-stream crossings (culverts) on the upstream passage of aquatic macroinvertebrates. *US Forest Service Report*. 15 bls.
- Warren, M.L. & Pardew, M.G. 1998. Road crossings as barriers to small-stream fish movement. *Transactions of the American Fisheries Society*, 127, 637-644.
- Wheeler, A.P., Auermeier, P.L. og Rosenberger, A.E. 2005. Impacts of new highways and subsequent landscape urbanization on stream habitat and biota. *Reviews in Fisheries Science*, 13, 141-164.
- Wofford, J.E.B., Gresswell, R.E. og Banks, M.A. 2005. Influence of barriers to movement on within-watershed genetic variation of coastal cutthroat trout. *Ecological Applications*, 15, 628-637.
- Þórólfur Antonsson, 2000. Verklýsing fyrir mat á búsvæðum seiða laxfiska í ám. Skýrsla Veðimála stofnunar VMST-R/0014. 10 bls.