



HAF- OG VATNARANNSÓKNIR

MARINE AND FRESHWATER RESEARCH IN ICELAND

Áhrif virkjana á rennsli og vatnalíf á vatnasviði
Þjórsár og Tungnaár

*The effect of hydropowerplants on the discharge and
ecological systems in the Þjórsá–Tungnaá river catchments*

Eydís Salome Eiríksdóttir

Áhrif virkjana á rennsli og vatnalíf á vatnasviði
Þjórsár og Tungnaár

*The effect of hydropowerplants on the discharge
and ecological systems in the Þjórsá–Tungnaá
river catchments*

Eydís Salome Eiríksdóttir

Upplýsingablað

Titill: Áhrif virkjana á rennsli og vatnalíf á vatnasviði Þjórsár og Tungnaár / <i>The effect of hydropowerplants on the discharge and ecological systems in Þjórsá–Tungnaá Rivers</i>		
Höfundur: Eydís Salome Eiríksdóttir		
Skýrsla nr: HV 2017-036	Verkefnistjóri: Guðni Guðbergsson	Verknúmer: 9010
ISSN nr: 2298-9137	Fjöldi síðna: 105	Útgáfudagur: 27. nóvember 2017
Unnið fyrir: Landsvirkjun	Dreifing: Opið	Yfirfarið af: Magnús Jóhannsson Benóný Jónsson
Ágrip <i>Eydís Salome Eiríksdóttir. Áhrif virkjana á rennsli og vatnalíf á vatnasviði Þjórsár og Tungnaár. HV 2017-036.</i> Rennsli í farvegum á Þjórsár–Tungnaáarsvæðinu var greint með tilliti til rennsliþátta sem eru mikilvægir fyrir lífríki straumvatna. Einnig voru tekin saman gögn um líffræðilega- og eðlis-efnafræðilega gæðabætti á ólíkum hlutum vatnasviðsins. Rennslisgögnin voru greind þannig að hægt væri að flokka vatnshlotin eftir aðferðafræði Vatnatilskipunar sem flokkar vatnshlot grundvelli lífríkis, eðlis-efnafræði og rennslisháttum. Virkjanaframkvæmdir hafa raskað bæði rennslismagni og vatnsformfræði vatnsfallanna á svæðunum ofan virkjana. Eftir myndun Þórisvatnsveitu árið 1972 jókst rennsli á lágrennslitímabilum til muna. Eftir því sem lónunum fjölgaði jókst miðlunargetan og þar með jafnaðist ársrennsli Þjórsár neðan virkjana, þannig að lágrennsli jókst og hárennsli minnkaði. Mest hefur rennslisbreytingin orðið eftir árið 1997, en þá lauk framkvæmdum við Hágöngulón og Kvíslaveitu V sem juku enn fremur miðlunarmöguleika Þórisvatnsveitu. Abstract <i>Eydís Salome Eiríksdóttir. The effect of hydropowerplants on the discharge and ecological systems in Þjórsá–Tungnaá Rivers. HV 2017-036.</i> <i>The hydrological parameters of the rivers Þjórsá and Tungnaá were analysed with respect to their influence on the rivers ecosystems, to be able to assess the status of the water body according to The European Water Framework Directive. Furthermore, a compilation was done on biological and physio-chemical parameters in different parts of the rivers. The hydrology of the rivers has been altered due to reservoir constuction and flow control on the river catchments. The discharge downstream of the dams has been altered and seasonal discharge fluctuations have been levelled out to a large degree, especially after 1997 when constructions at Hágöngulón and Kvíslaveita V were finished, which increased further water mediation on the catchments.</i>		
Lykilorð: Vatnatilskipun, vistrennsli, líffræðilegir gæðabættir, e-flow.		
Undirskrift verkefnisstjóra: 		Undirskrift forstöðumanns sviðs: 

Efnisyfirlit

1. Inngangur	1
1.1 Tilgangur verkefnisins	1
1.2 Vatnatilskipun Evrópuþingsins	1
1.3 Vistrennsli straumvatna (e-flow)	3
1.4 Álag á vatnshlot – náttúrulegt eða mannlegt	5
2. Vatnasvið Þjórsár og Tungnaár.....	5
2.1 Virkjanasaga Tungnaár og Þjórsár	10
3. Aðferðir	12
3.1 Vísbendingar um vatnsformfræðilegar breytingar (IHA).....	12
3.2 Líffræðilegar breytur.....	17
3.3. Vatnastjórnun í Evrópu: nokkur dæmi	18
3.3.1 Austurríki	18
3.3.2 Bretlandseyjar	19
4. Niðurstöður	20
4.1 Rennsli Þjórsár	20
4.1.1 Þjórsá við Dynk (vatnshlot 103-950-R, Þjórsá 4)	22
4.1.2 Tungnaá við Maríufossa (vatnshlot 103-878-R, Tungnaá 4)	26
4.1.3 Tungnaá við Sigöldufoss (vatnshlot 103-973-R, Tungnaá 3).....	30
4.1.4 Þjórsá við Sandafell (vatnshlot 103-777-R)	34
4.1.5. Þjórsá við Krók (vatnshlot 103-663-R).....	39
4.2 Framburður svifaura	44
4.3 Styrkur og framburður uppleystra efna í Þjórsá–Tungnaá	49
4.3.1 Styrkur uppleystra efna í ám á vatnasviðunum.....	49
4.3.2 Framburður uppleystra efna í ám á vatnasviðunum.....	53
4.4 Fiskstofnar á Þjórsár–Tungnaásvæðinu	57
4.4.1 Fiskstofnar í Efri Þjórsá og Kvíslavötnum.....	57
4.4.2 Fiskstofnar í Köldukvísl, Tungnaá og virkjunarlónum á vatnasviði þeirra	59
4.4.3 Fiskstofnar í Neðri Þjórsá	65
5. Umræða.....	76
5.1 Flokkun á vistfræðilegu ástandi vatnshlota á Þjórsár–Tungnaár svæðinu	76
5.1.1 Þjórsá ofan Sultartanga og Kvíslaveitur	77
5.1.2 Kaldakvísl, Tungnaá og lón á vatnasviðum þeirra.	78

5.1.3 Þjórsá neðan Sultartanga að útrennsli Búrfellsvirkjunar.....	82
5.1.4 Þjórsá neðan Búrfells	83
5.2 Hvort hefur loftslag eða virkjanir haft meiri áhrif á rennsli Þjórsár?	85
5.3 Líkleg þróun lífríkis í Þjórsá miðað við núverandi ástand.....	88
5.4 Mótægisaðgerðir á Þjórsár–Tungnaárvæðinu	89
5.5 Hvað vantar uppá ?.....	89
Þakkarorð	90
Viðaukar	98

Myndaskrá

Mynd 1. Flokkunarlykill Vatnatilskipunar	2
Mynd 2. Vatnasvið Þjórsár, Tungnaár og Köldukvíslar.....	6
Mynd 3. Langsnið eftir farvegi Þjórsár. Longitudinal section of Þjórsá river.....	8
Mynd 4. Langsnið eftir farvegi Tungnaár. Longitudinal section of Tungnaá river.....	9
Mynd 5. Meðalrennsli Þjórsár við Krók og Jökulsár á Dal.....	12
Mynd 6. Dagsmeðalrennsli í Þjórsá við Dynk frá 1988 til 2015 (m ³ /s).	21
Mynd 7. Loftmynd af Þjórsá við Dynk og Sultartangelóni.....	22
Mynd 8. Miðgildi mánaðarrennslis í Þjórsá við Dynk	23
Mynd 9. Sjö daga há- og lágrennsli í Þjórsá við Dynk.....	24
Mynd 10. Dagsmeðalrennsli í Tungnaá við Maríufossa	25
Mynd 11. Loftmynd af Tungnaá	26
Mynd 12. Miðgildi mánaðarrennslis (m ³ /s) í Tungnaá við Maríufossa	27
Mynd 13. Sjö daga há- og lágrennsli í Tungnaá við Maríufossa.....	27
Mynd 14. Dagsmeðalrennsli í Tungnaá við Sigöldufoss	29
Mynd 15. Farvegur Tungnaár á milli Krókslóns og Tungnaár	30
Mynd 16. Miðgildi mánaðarrennslis (m ³ /s) í Tungnaá við Sigöldufoss.....	30
Mynd 17. Sjö daga há- og lágrennsli í Tungnaá við Sigöldufoss	32
Mynd 18. Dagsmeðalrennsli í Þjórsá við Sandafell	33
Mynd 19. Þjórsá við Sandafell	34
Mynd 20. Miðgildi mánaðarrennslis Þjórsár við Sandafell.....	35
Mynd 21. Sjö daga há og lágrennsli (m ³ /s) í Þjórsá við Sandafell.	35
Mynd 22. Langæislína Þjórsár við Sandafell fyrir og eftir Sultartangavirkjun.....	36
Mynd 23. Miðgildi rennslis hvers mánaðar á Þjórsár við Sandafell	36
Mynd 24. Dagsmeðalrennsli í Þjórsá við Krók	38
Mynd 25. Loftmynd af Þjórsá við Krók	39
Mynd 26. Miðgildi ársrennslis Þjórsár við Krók.....	39
Mynd 27. Miðgildi mánaðarrennslis Þjórsár við Krók	40
Mynd 28. Sjö daga hárennsli og sjö daga lágrennsli (m ³ /s) í Þjórsá við Krók	40
Mynd 29. Langæislínur Þjórsár við Krók.....	41

Mynd 30. Miðgildi rennslis Þjórsár við Krók.....	42
Mynd 31. Meðalframburður (kg/s) svifaus í Þjórsá við Krók.....	46
Mynd 32. Ljósgeypni og styrkur svifaus í Þjórsá við Búða.	47
Mynd 33. Styrkur næringarefnanna NO ₃ og PO ₄ í Þjórsá við Urriðafoss.....	51
Mynd 34. Tímaröð næringarefna í Þjórsá við Urriðafoss.....	51
Mynd 35. Fjórðungsmörk styrks næringarefna í Þjórsá við Urriðafoss	52
Mynd 36. Reiknaður framburður kísils (SiO ₂) Þjórsár við Urriðafoss/Krók.....	56
Mynd 37. Yfirlitsmynd yfir staðsetningu rafveiðistöðvar í Þjórsá og Þverám.....	66
Mynd 38. Meðalþéttleiki laxaseiða í viðmiðunarstöðvum í Þjórsá og Þverám	67
Mynd 39. Vísitala þéttleika laxaseiða af mismunandi aldri á viðmiðunarstöðvum í Þjórsá og Þverám.....	68
Mynd 40. Þéttleiki urriðaseiða í viðmiðunarstöðvum í Þjórsá.....	73
Mynd 41. Meðalframburður (kg/s) svifaus í Þjórsá við Krók.....	75
Mynd 42. Flokkunarlykill Vatnatilskipunar	76
Mynd 43. Miðgildi rennslis júnímánaðar í Þjórsá við Krók frá 1959 til 2014.....	87

Töfluskrá

Tafla 1. Greiningarskipan fyrir vatnsformfræðilegt álag og áhrif þess á vatnavistkerfi	4
Tafla 2. Yfirlit yfir framkvæmdir á Þjórsár – Tungnaárvæðinu	11
Tafla 3. EFC breytur (Environmental flow component)	14
Tafla 4. IHA breytur (Indicator of Hydrological Alteration).....	15
Tafla 5. Miðgildi mánaðarrennslis (m ³ /s) í Þjórsá við Dynk	24
Tafla 6. Miðgildi mánaðarrennslis (m ³ /s) í Tungnaá við Maríufossa	28
Tafla 7. Miðgildi mánaðarrennslis í Tungnaá við Sigöldufoss	32
Tafla 8. Miðgildi mánaðarrennslis í Þjórsá við Sandafell.....	37
Tafla 9. Miðgildi mánaðarrennslis í Þjórsá við Krók	43
Tafla 10. Meðaltal rennslis við sýnatöku og styrks svifaus og leysta efna í Þjórsá og Tungnaá	50
Tafla 11. A og B) Umhverfismörk fyrir málma og næringarefni í yfirborðsvatni	53
Tafla 12. Meðalársframburður Þjórsár og Tungnaár á uppleystum efnum og svifaur.....	53
Tafla 13. Meðaltal og fjórðungsfrávik vísitölu þéttleika laxa- og urriðaseiða í Þjórsá og Þverám	70
Tafla 14. A) Stigatafla til mats á vistfræðilegu ástandi straumvatnshlota	71
Tafla 15. Meðaltal og fimm hundraðshlutflokkar vísitölu þéttleika seiða í Þjórsá og Þverám .	72
Tafla 16. Áhrif loftslagsbreytinga á rennsli Þjórsár við Krók	86

1. Inngangur

1.1 Tilgangur verkefnisins

Meginmarkmið verkefnisins sem hér er fjallað um er að meta vatnsformfræðilegar breytingar (sjá síðar) á Þjórsár–Tungnaáarsvæðinu af völdum virkjana og möguleg áhrif þeirra á vatnalíf á vatnasviðinu, sbr. lög nr. 36/2011 um stjórn vatnamála. Landsvirkjun fól Veiðimálastofnun (nú Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna) að taka saman fyrirbyggjandi rannsóknir á svæðinu varðandi lífríki og vatnsformfræðilega þætti (s.s. samfellu og rennsli) fyrir og eftir virkjanaframkvæmdir, taka saman hvar upplýsingar vantar og leggja mat á hvort ástæða þykir til að afla frekari gagna á einhverjum svæðum. Upplýsingar um þær mótvægisáðgerðir sem farið hafa fram á vatnakerfinu verða teknar saman og mat lagt á virkni þeirra og tillögur gerðar að frekari mótvægisáðgerðum þar sem það á við.

Út frá þessum upplýsingum, auk upplýsinga um öröskuð sambærileg vatnshlot, verður mat lagt á álag af völdum virkjana og tengdra framkvæmda á svæðinu og þær breytingar sem orðið hafa á vatnalífi í kjölfar þeirra. Áhersla verður lögð á áhrif rennslisbreytinga í samræmi við leiðbeiningarit nr. 31 frá Evrópunefndinni um vistfræðilegt rennsli (WDF CIS, 2015). Jafnframt verður dregin upp líkleg framtíðarsýn af þróun svæðisins m.t.t. núverandi ástands.

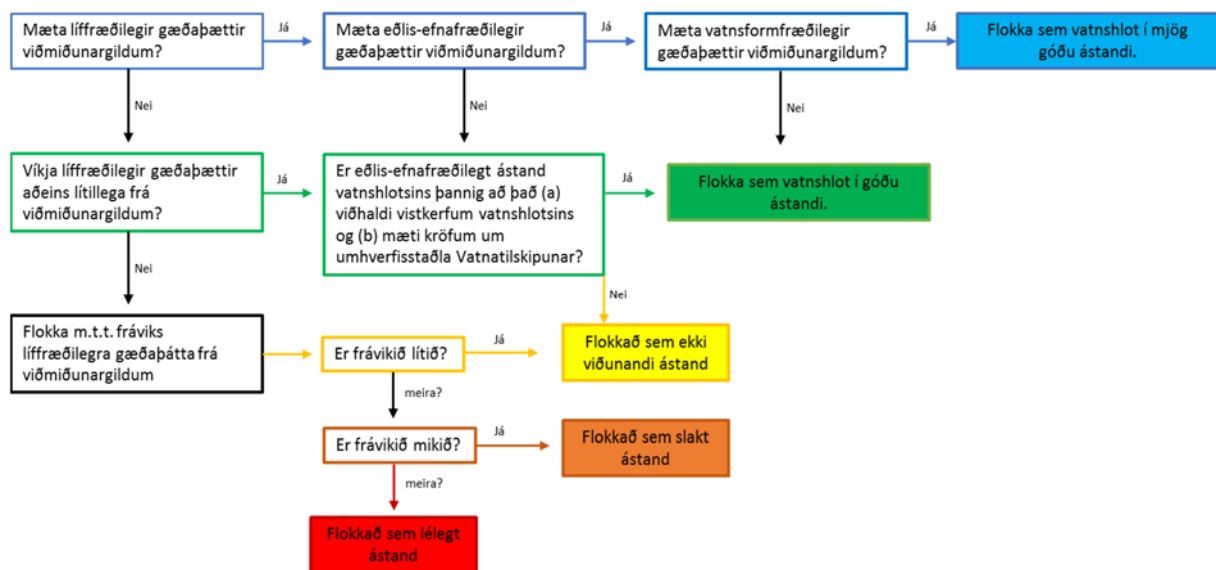
1.2 Vatnatilskipun Evrópuþingsins

Í apríl 2011 voru samþykkt lög á Alþingi nr. 36/2011 um stjórn vatnamála sem byggja á rammatilskipun Evrópusambandsins um verndun vatns (Vatnatilskipun Evrópuþingsins 2000/60/EB) og vatnavistkerfa. Á grundvelli laganna og reglugerðar nr. 935/2011 voru árið 2012 gerðir samningar við Veðurstofuna og Veiðimálastofnun um að skilgreina gerðir yfirborðsferðsvatns á Íslandi. Sú vinna lagði til að straumvatnshlotum yrði skipt upp í 9 flokka sem byggjast á aldri berggrunns, hæð yfir sjávarmáli, jökulþekju á vatnasviði, og þekju stöðuvatna á vatnasviði. Eins var stöðuvatnshlotum skipt upp í 9 flokka og byggðist sú flokkun á aldri berggrunns, hæð yfir sjávarmáli, dýpi og því hvort um er að ræða jökulskotin stöðuvötn eða ekki (Gerður Stefánsdóttir og Halla Margrét Jóhannesdóttir, 2013). Vatnshlot á Íslandi hafa verið flokkuð út frá þessum viðmiðum og er hægt að nálgast niðurstöðurnar á vatnshlotavefsjá á heimasíðu Veðurstofunnar (Veðurstofa Íslands, 2016a). Einnig er hlekkur á vatnshlotavefsjána á heimasíðunni vatn.is.

Til viðbótar geta yfirborðsvatnshlot verið flokkuð sem „mikið breytt“ eða „manngerð“. Ástand lífríkis í yfirborðsvatnshlot flokkast í fimm eftirfarandi ástandsflokka (WFD CIS, 2005): „mjög gott“, „gott“, „ekki viðunandi“, „slakt“ og „lélegt“. Ástand lífríkis í manngerðu eða mikið breyttu vatnshloti er samkvæmt gæðaflokkun „besta vistmegin“, „gott vistmegin“ og „ekki viðunandi vistmegin“. Flokkun vatnshlota í „mikið breytt“ eða „manngerð“ vatnshlot felur í sér mat á ýmsum þáttum, m.a. hvort vatnsformfræðileg breyting hafi orðið, og þá hvort um sé að ræða verulegar breytingar sem hafi svo neikvæð áhrif á lífríki vatnshlotsins að ólíklegt sé að það geti fallið í flokkinn „gott vistfræðilegt ástand“ (WFD CIS, 2000).

Árið 2013 var Veiðimálastofnun falið að taka saman og greina líffræðileg gögn um yfirborðsvatnshlot með það að markmiði að leggja mat á hvaða líffræðilegu þættir koma til greina sem gæðapættir við íslenskar aðstæður. Í samantekinni var líffræðilegum þáttum skipt upp í þrjá þætti: 1) fiska, 2) vatnagróður og 3) botnhryggleysingja. Unnið var með 1) tegundasamsetningu, þéttleika seiða og árgangaskipan laxfiska, 2) kísilþörungum og vatnaplöntur, og 3) fyrirliggjandi upplýsingar um botnhryggleysingja. Markmiðið með samantektinni var að gera fyrstu tilraun til að byggja upp viðmið fyrir líffræðilega gæðapætti fyrir hverja gerð yfirborðsferskvatns (Halla Margrét Jóhannesdóttir, 2014; Friðþjófur Árnason, 2014; Elísabet R. Hannesdóttir og Jón S. Ólafsson, 2014; Gunnar Steinn Jónsson o.fl., 2014; Þórólfur Antonsson o.fl., 2014). Á sama tíma var gerð tillaga að viðmiðunaratnshlotum (óröskuðum) fyrir straumvötn (Halla Margrét Jóhannesdóttir og Ingi Rúnar Jónsson, 2014).

Eðlisefnafræðilegir og vatnsformfræðilegir gæðapættir eru notaðir til stuðnings líffræðilegu gæðapáttunum til að fastsetja gerðarsértæk, vatnsformfræðileg og eðlisefnafræðileg skilyrði (EES-viðbætur, 2011, V. Viðauki). Vatnsformfræði tekur til mælinga á vatnsmagni, straumpunga, rennissamfelli og vatnsformfræðilegum skilyrðum (s.s. breytileiki í dýpt og breidd árinna, gerð og undirlag farvegjar og bakkagerð). Eðlisefnafræðileg skilyrði er hægt að meta t.d. út frá vatnshita, súrefnisskilyrðum, seltu, sýrustigi og næringarskilyrðum, ásamt mælingum á sérstökum mengunarföldum (forgangsefni – priority substances í Annex II Directive 2008/105/EC) ásamt öðrum efnum sem sýnt hefur verið fram á að sleppt hafi verið í umtalsverðu magni í vatnshlotið.



Mynd 1. Flokkunarlykill Vatnatilskipunar sem sýnir afstætt hlutverk líffræðilegra, eðlis-efnafræðilegra og vatnsformfræðilegra gæðapátta við flokkun vatnsfalla eins og gert er ráð fyrir í Vatnatilskipun (WFD CIS, 2003b). *Indication of the relative roles of biological, hydromorphological and physico-chemical quality elements in ecological status classification.*

Á Mynd 1 er sýndur flokkunarlykill sem sýnir afstætt hlutverk líffræðilegra, eðlis-efnafræðilegra og vatnsformfræðilegra gæðapátta við flokkun vatnsfalla eins og gert er ráð fyrir í Vatnatilskipun Evrópuþingsins (WFD CIS, 2003a). Þar sést að Vatnatilskipun Evrópuþingsins gerir ráð fyrir að vötn séu flokkuð fyrst og fremst út frá líffræðilegum gæðapáttum en eðlis-efnafræðilegir gæðapættir eru notaðir til stuðnings. Mat á vatnsformfræðilegum þáttum, þ.e. hvort um er að

ræða vistrennsli (e-flow) í viðkomandi vatnsfalli, kemur aðeins til þegar flokka á vatnshlot í flokkinn „mjög gott ástand“ (blái ferillinn á Mynd 1).

1.3 Vistrennsli straumvatna (e-flow)

Vinna við Vatnatilskipun í Evrópu síðastliðin ár hefur aukið skilning á því hvernig vatnsnýting og breytingar á vatnsformfræði straumvatna getur haft áhrif á ástand vatnavistkerfa. Nýverið var gefinn út leiðbeiningabæklingur varðandi það sem kallað hefur verið „ecological flows“ eða „e-flows“ á ensku (WDF CIS, 2015), en verður hér kallað vistrennsli. Þar kemur fram að hindrun vatnsrennslis af mannavöldum sé annar algengasti þátturinn sem veldur álagi á vatnshlot, á eftir næringarefnaauðgun í vatnshlotum. Til samræmis við umhverfismarkmið í 4. grein (1) í lögum um Vatnatilskipun 2000/60/EB á skilgreining á vistrennsli eingöngu að byggja á tæknilegu/vísindalegu ferli, án tillits til félags-/hagfræðilegra áhrifa. Þau áhrif koma til athugunar þegar straumvatn er flokkað sem „mikið breytt“ vatnshlot (WFD, 2015).

Innan Vatnatilskipunar er vistrennsli (e-flows) skilgreint sem vatnsformfæði vatnakerfis, rennsli straumvatna eða vatnshæð stöðuvatna, sem samræmist umhverfismarkmiðum Vatnatilskipunar 2000/60/EB samkvæmt grein 4(1) sem fjallar um umhverfismarkmið tilskipunarinnar. Í því felst að ástandi vatnakerfis má ekki hraka við nýtingu á vatni, að góðu vistfræðilegu ástandi vatnshlota sé náð (tafla 1.2 í Tilskipun Evrópuþingsins og ráðsins, 2000; WFD, 2000) og að nýtingin á vernduðum svæðum sé í samræmi við staðla og viðmið. Markmiði Vatnatilskipunar um verndun vatnavistkerfa verður aðeins náð ef vatnsformfræði straumvatna er ekki breytt meira en svo að það geti staðið undir þeim vistkerfum sem í þeim þrífast. Því er nauðsynlegt að stuðla að því að samfelldu rennsli straumvatna sem sé sem líkast náttúrulegum rennslisháttum, og að ekki sé aðeins horft til lágmarksrennslis. Við flokkun á yfirborðsvatnshlotum er mikilvægt að horfa til rennslishátta, og nauðsynlegt ef flokka á vatnshlot í „mjög gott ástand“ (WFD, 2015).

Mælingar á rennsli straumvatna er lykilþáttur við mat á hvort vistvænu rennsli straumvatna sé náð og mikilvægt er að haga mælingum þannig að þær gefi sem besta mynd af mögulegum áhrifum manngerðra breytinga á yfirborðsvatnshlotum á vatnavistkerfin. Nauðsynlegt er að safna nægum upplýsingum um rennsli til að geta metið hve mikið breytt rennsli vikur frá náttúrulegu rennsli.

Vistkerfi í straumvötnum þróast eftir þeim vatnsformfræðilegu þáttum sem þar ríkja á mismunandi tímum (Poff et al., 1997). Á þeim grunni hafa grunnþættir rennslis verið skilgreindir („environmental flow components“ eða EFC). Meginþættirnir í rennslisháttum eru grunnrennsli og rennslismynstur (vatnsmagn, árstíðabundnar sveiflur, tímalengd rennslisstoppa, tíðni og hraða rennslisbreytinga). Lágt rennsli (grunnrennsli) getur haft áhrif á far fiska, valdið breytingum á efnastyrk í vatninu. Tegundir sem eru aðlagðar lágrennsli geta þolað þær umhverfisbreytingar en gætu jafnvel ekki keppt við aðrar tegundir ef rennsli straumvatna yrði jafnað. Rennslismynstur er mikilvægt í þróun vatnavistkerfa. Rennslisstoppar auka möguleika á fari fiska og annarra hreyfanlegra lífvera og geta aukið möguleika á fæðuöflun og aðgangi að heppilegum hrygningar- og uppeldisstöðum fyrir seiði. Stærri flóð hafa mikla burðargetu og geta hreinsað fíngert set af botni straumvatna, og þar með haft áhrif á búsvæði straumvatnanna

(Sanz og Schmidt, 2012; WFD CIS, 2015). Rennslisbreytingar geta haft mikil áhrif á lífverur í vatni. Sýnt hefur verið fram á að miklar og snöggar sveiflur í rennsli eru verstar og geta haft neikvæð áhrif á stofna þörunga, smádyra og fiska (Benke o.fl. 2000, Bunn og Arthington 2002, Saltveit o.fl. 2001, Magnús Jóhannsson o.fl. 2011).

Greining álags á vistkerfi af völdum breytinga á vatnsformfræðilegum eiginleikum vatnshlota og áhrif þeirra tekur til fimm þátta (DPSIR) (WFD CIS, 2015): drifkraftur breytinganna (Driver), álag (Pressure), ástand (State), áhrif (Impact) og viðbrögð (Response) (tafla 1). Þessi greining felur í sér eftirfarandi skref:

- a) Lýsing á því hvað veldur breytingunum.
- b) Bera kennsl á áhrif á vistkerfi vegna álags af vatnsformfræðilegum breytingum.
- c) Mat á áhrifum vatnsformfræðilegra breytinga á vistkerfi vatnshlota.
- d) Mat á hvort vatnsformfræðilegar breytingar hafa áhrif á skilgreind umhverfismarkmið Vatnatilskipunar.

Tafla 1. Greiningarskipan fyrir vatnsformfræðilegt álag og áhrif þess á vatnavistkerfi (DPSIR) (WFD CIS, 2015). *Driver, Pressure, State, Impact, Response (DPSIR) analytical framework applied to the hydrological pressures and impacts*

Þáttur	Skilgreining
Drifkraftur (Driver)	Samfélagslegar þarfir sem gætu haft áhrif á vatnafræði, s.s. landbúnaður (vökvun), iðnaður, vatnsveita, vatnsorku framleiðsla.
Álag (Pressure)	Bein áhrif sem framkvæmdin (driver) hefur á vatnshlotið: s.s. vatnstaka (grunn- og yfirborðsvatn), árstíðabundin vatnstaka (áveitur í landbúnaði), söfnun vatns í uppistöðulón og miðlun úr þeim, vatnsflutningar innan- og milli vatnshlota, endurdæling vatns úr lónum.
Ástand (State)	Áhrif manngerðs álags á umhverfið s.s. bein áhrif á vatnafar, áhrif á grunnvatn (hydraulic effects), bein/óbein áhrif á rof/setmyndun innan vatnasviðanna, breytingar á hitastigi, næringarefnum og aurframburði. Samþætt áhrif þessara breytinga (og annarra eðlis-efnafræðilegra breytinga) á vatnalífverur er meginhlekkurinn á milli manngerðs álags vegna ferskvatnsnýtingar og vatnalífvera.
Áhrif (Impact)	Viðbrögð einstakra lífvera, lífveruhópa og lífverusamfélaga og virkni vistkerfanna.
Viðbrögð (Response)	Mótvægisáðgerðir til að bæta ástand vatnshlotsins, t.d. vistrennsli, breyting á nýtingu vatns og sértækar reglur varðandi vatnsnýtingu, reglur um rennsli neðan við stíflur, og aðrar mótvægisáðgerðir sem eru ekki vatnsformfræðilegar s.s. bæting á búsvæðum.

Hægt er að draga úr neikvæðum áhrifum á umhverfi og líffræðilegan fjölbreytileika á svæðinu með því að nota skilgreiningar um vistrennsli (e-flow) til leiðbeiningar við ákvarðanatöku t.d. varðandi hönnun og rekstur vatnsaflsvirkjana eða annarrar starfsemi sem krefst vatnsnotkunar.

Tölfræðileg greining á mælingum á rennslisháttum óraskaðra straumvatna er mikilvæg til að meta áhrif manngerðra breytinga. Flestar aðferðir sem notaðar hafa verið við tölfræðilega greiningu á rennslismynstri staumvatna greina fimm helstu þætti rennslisins sem vitað er að hafi áhrif á vatnavistkerfi: vatnsmagn, árstíðabundnar sveiflur, tímalengd rennslisstoppa, tíðni og hraða rennslisbreytinga (WFD CIS, 2015).

Samkvæmt Vatnatilskipun þarf að skilgreina hvað teljast vera „umtalsverðar“ breytingar við greiningu á álagi á vistkerfi af völdum vatnsformfræðilegra breytinga (WFD CIS, 2003a), en það eru álagsþættir sem ógna markmiði Vatnatilskipunar um að vatnsgæði megi ekki rýrna. Sem dæmi um breytingar sem þarf að taka tillit til eru vatnsmagn, árstíðaferrill, tímalengd, tíðni, hraði breytinga, og rennslisbreytingar, árstíðabundnar breytingar og á milli ára, sem eru líklegar til að valda verulegum áhrifum á vistfræði vatnshlota. Við fyrsta mat á álagi af völdum rennslisbreytinga skulu eftirfarandi grunnviðmið skilgreind (WFD CIS, 2015): heildarvatnsmagn í uppistöðulónum, stífluhæð (vísbending um miðlunargetu) og lengd farvega sem hafa orðið fyrir breytingum.

1.4 Álag á vatnshlot – náttúrulegt eða mannlegt

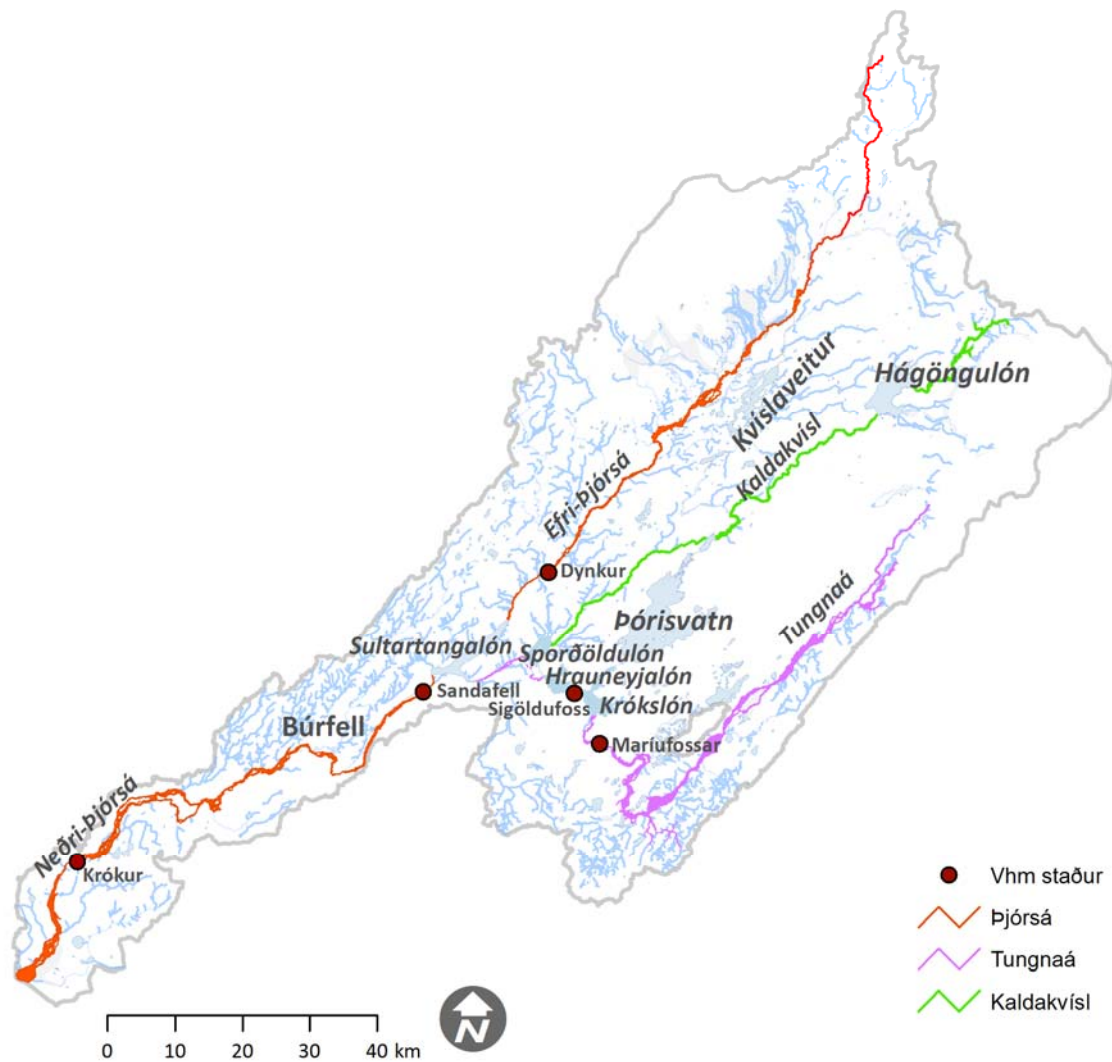
Þegar fjallað er um álag á lífríki vatnshlota í Vatnatilskipun Evrópusambandsins er átt við mannlegt álag. En ekki er allt álag á náttúruna manna verk. Lega Íslands rétt við heimsskautsbaug veldur því að náttúran sjálf veldur álagi á lífríkið. Lágt hitastig veldur því t.d. að seiðapéttleiki er lægri í ám á Norðurlandi en annarsstaðar á landinu (Þórólfur Antonsson o.fl. 2014). Lágt hitastig á landinu veldur því einnig að stór hluti afrennslis af landinu er um jökulár þar sem rennsli er sveiflukennt yfir árið og allt umhverfi óstöðugt. Flóð jökuláa eru tíð vegna leysinga og þegar jökulbráð er mikil, en vetrarrennsli er afar lágt. Jökulárnar eru einnig mikilvirkar í framburði á jökulaur sem veldur því að lífverur eiga erfitt uppdráttar, bæði vegna lítils skyggnis í jökulvatninu, sem dregur m.a. úr frumframleiðslu, sem og óstöðugs umhverfis þar sem skiptist á rof og setmyndun innan sama svæðis í farveginum. Umhverfi jökuláa veldur álagi á lífríkið sem þar þrífst og því er þéttleiki og fjölbreytni lífvera minni en í dragám og lindám (Gísli Már Gíslason o.fl. 2001; Iris Hansen o.fl. 2006). Einnig er vaxtarhraði bleikju og urriða minni í jökulskotnum vötnum en í tærum stöðuvötnum (Friðþjófur Árnason, 2014).

Það þyrfti því ekki að koma á óvart þótt virkjanir jökuláa valdi því að lífsskilyrði fyrir þörunga, smádýra og fiska batni á stórum köflum í farvegum virkjaðra jökuláa þar sem virkjanalón draga úr rennslissveiflum og framburði svifaura. Þar eru undanskildir þeir farvegakaflar sem eru alveg þurrkaðir upp eða þar sem rennsli er mjög óstöðugt og miðlunarlón með mjög breytilega vatnshæð.

2. Vatnasvið Þjórsár og Tungnaár

Þjórsá er lengsta vatnsfall á Íslandi, alls um 230 km. Vatnasvið hennar er 7665 km² og er það næststærsta vatnasvið á Íslandi, næst á eftir Jökulsá á Fjöllum. Þjórsá ofan Sultartanga skiptist í þrjú meginvatnasvið; Efri Þjórsá, Köldukvísl og Tungnaá. Neðan við Sultartanga sameinast þessi

vatnsföll og renna saman til sjávar og er í þessari skýrslu nefnd Neðri Þjórsá. Stærð vatnasviðs Þjórsár ofan Sultartanga er 1805 km² og stærð sameinaðs vatnasviðs Kvíslaveitu, Köldukvíslar og Tungnaár eftir virkjunarframkvæmdir er 4648 km², þar af eru 368 km² undir Köldukvíslarjökli og 122 km² undir Tungnárjökli í Vatnajökli (Finnur Pálsson, 2014) og 47,4 km² undir Hofsjökli (Theodór Theodórsson, Landsvirkjun, pers. upplýsingar).



Mynd 2. Vatnasvið Þjórsár, Tungnaár og Köldukvíslar. Staðsetning vatnshæðamæla sem notaðir eru í þessari skýrslu er merkt með rauðum hringjum. *The river catchments of Þjórsá, Tungnaá and Kaldakvísl. The location of gauging stations used in this report are shown in red circles.* Kort/map: Theodór Theodórsson, Landsvirkjun, 2016.

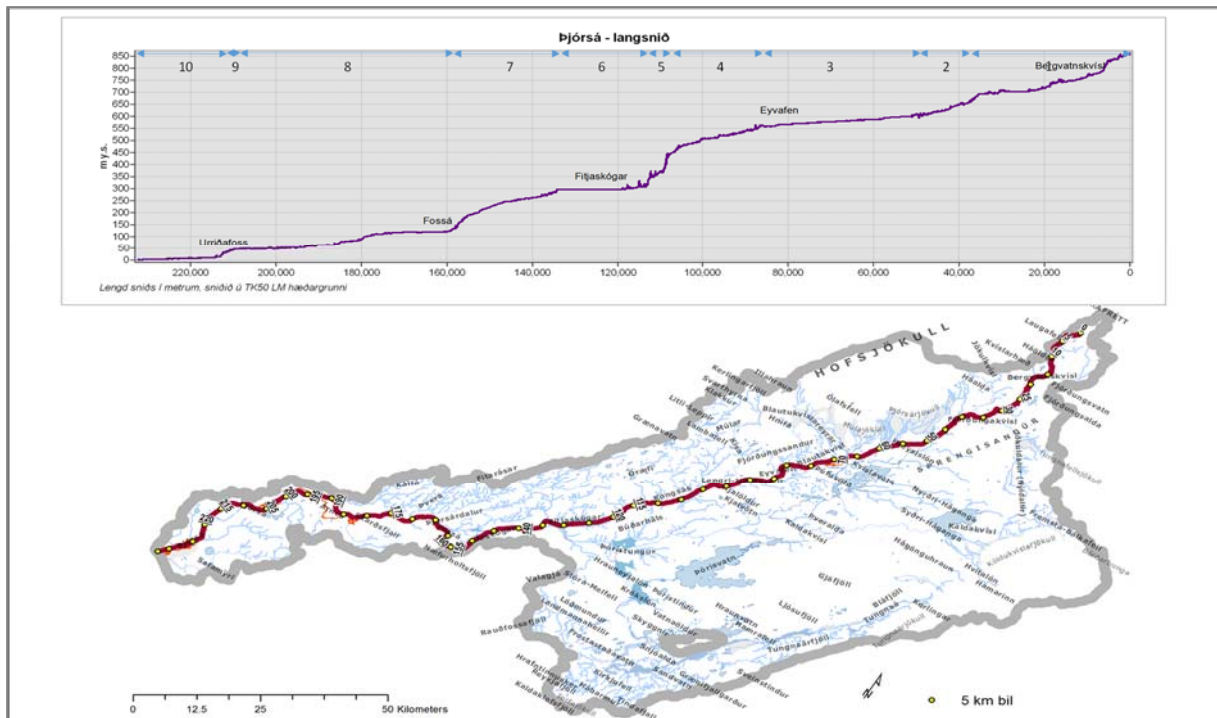
Elsti hluti berggrunnsins á vatnasviði Þjórsár er Hreppamyndunin sem er samheiti yfir elsta hluta berggrunnsins á Suðurlandi. Hreppamyndunin er frá 0,8 til 3 milljón ára og skiptast þar á móbergsmýndanir frá jökulskeiðum og hraun og setlög frá hlýskeiðum. Útbreiddasta jarðmyndunin á neðri hluta Þjórsársvæðisins er Þjórsárhraunið sem kom upp fyrir um 8700 árum. Það er eitt Tungnárhraunanna og er komið, að því talið er, úr eldstöðvum í nágrenni Veiðivatna. Þjórsá rennur á Þjórsárhrauni á meirihluta leiðarinnar frá Búrfelli að Urriðafossi (Árni Hjartarson, 2001).

Þjórsá dregur vatn sitt af landssvæðinu á milli Vatnajökuls og Hofsjökuls. Megin sprungustefna á vatnasviði Þjórsár er NA-SV og liggja ásar og móbergshryggir einnig í þá stefnu. Móbergshryggirnir eru þéttar jarðmyndanir úr samlímdri gosösku, hafa litla lekt og stjórna rennslisháttum grunnvatns á svæðinu (Árni Hjartarson, 1988; 2001). Farvegir Þjórsár, Köldukvíslar og Tungnaár eru innrammaðir af þessum landslagsformum og liggja allir í NA-SV, nema Tungnaá þar sem hún hittir fyrir megineldstöðina á Torfajökulssvæðinu, sem liggur hátt í landslaginu og hefur mikil áhrif á meginsprungustefnu svæðisins. Þar beygir farvegur Tungnaár og liggur í NV þar til áin sameinast Köldukvísl og Þjórsá við Sultartanga, eftir dvöl vatnsins í Krókslóni og Hrauneyjarlóni (Mynd 2).

Þjórsá er blanda af jökulá, dragá og lindá sem hefur áhrif á náttúrulegt rennslismynstur hennar. Jökulvatn streymir frá Hofsjökli í farvegi Þjórsár og Vatnajökli í farvegum Tungnaár og Köldukvíslar. Jökulrennslið er lítið sem ekkert á veturna en mikið á sumrin þegar jökulbráð er mikil. Margar misstórar dragár falla til Þjórsár og hafa þær mjög breytilegt rennsli eftir árum og árstíðum. Helstu dragár sem falla til Þjórsár eru Fossá, Sandá, Þverá, Minnivallalækur og Kálfá. Lindarvatn streymir víða inn í ár og vötn á vatnasviðinu, einkum þar sem berggrunnurinn er gropinn og grunnvatnsstaða há. Veiðivatnaklasinn er í lægðum sem skera grunnvatnsborðið og þaðan streymir mikið vatn til Tungnaár. Lindarvatn flæðir einnig fram við jaðra Þjórsáhrauns að farvegi Þjórsár en rennsli þessara linda getur verið breytilegt, sem og hæð grunnvatnsyfirborðs á svæðinu (Árni Hjartarson, 2001; Snævarr Örn Georgsson, 2016). Nýleg rannsókn á samspili grunnvatns og rennslis í Tungnaá sýnir að vatn úr þremur grunnvatnsgeymum streymir til Tungnaár og að þáttur grunnrennslis er 53% af heildarrennsli Tungnaár ofan vatnshæðarmælisins við Maríufossa (Snævarr Örn Georgsson, 2016) sem er staðsettur ofan Krókslóns og rennsli er ótruflað af mannavöldum (Mynd 2).

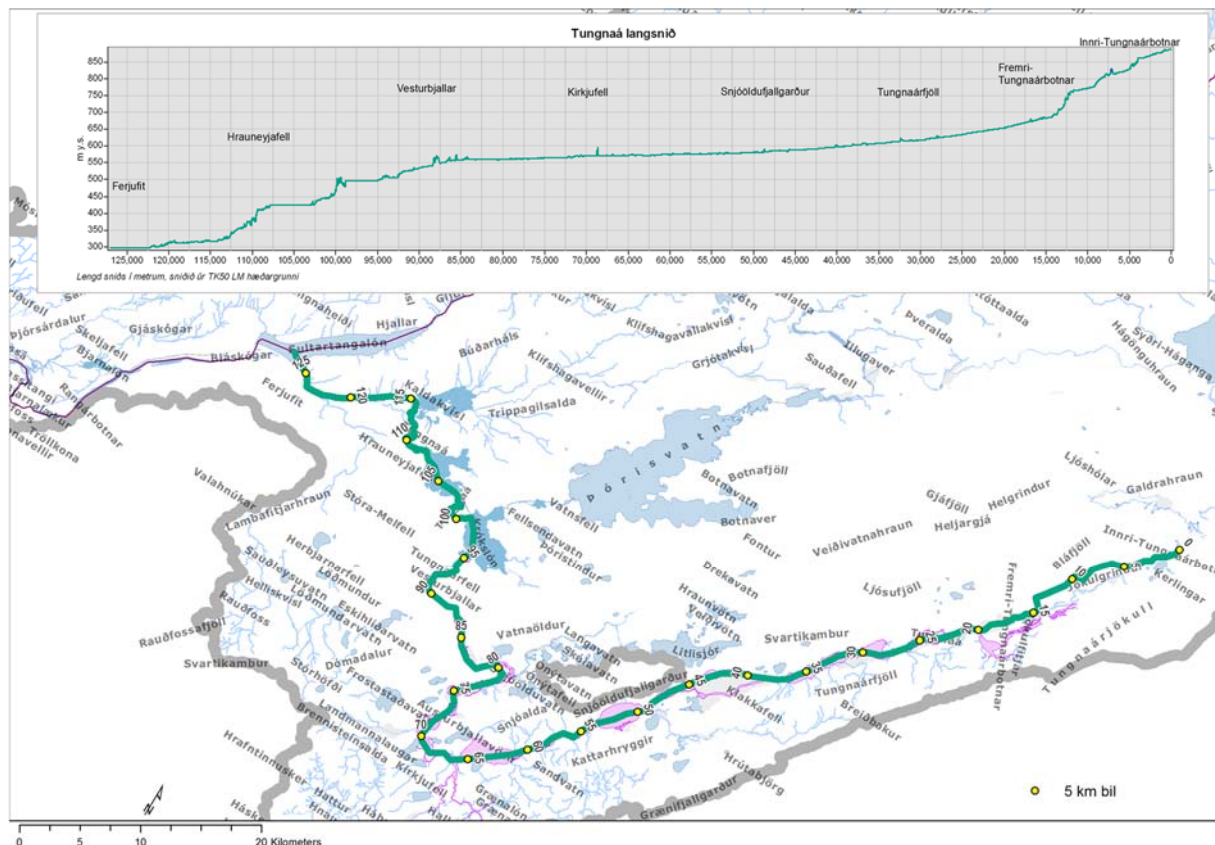
Í gerðargreiningu á ferskvatni á yfirborði Íslands lendir Þjórsá í flokki RIL 111, með lindarvötnum eins og Ytri-Rangá. Flokkunin er byggð á eftirfarandi: 1) jökulvatn og 2) bergvatn sem flokkast út frá hæð yfir sjávarmáli, þekju votlendis á vatnasviði og aldri berggrunns. Þar sem <15% af vatnasviði Þjórsár er hulið jökli flokkast Þjórsá sem bergvatnsá með miklum lindarvatnseiginleikum (Gerður Stefánsdóttir og Halla Margrét Jóhannesdóttir, 2013). Það er gott og blessað þegar aðeins er horft til rennsliseiginleika Þjórsár, sérstaklega eftir virkjun, en svifaursstyrkur Þjórsár er mjög breytilegur (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2011) og getur orðið það hár að það standi lífríki árinna fyrir þrifum.

Vatnasvið Þjórsár liggur hæst við upptök í austanverðum Hofsjökli, í um 850 m.y.s., og lækkar að meðaltali um 3,7 m/km farvegar. Mest er lækkunin 30 m/km þar sem Þjórsá fellur fram af hálendisbrúninni við Sultartanga og svo um 20 m/km við Búrfell, 12 m/km við Urriðafoss en annars frá 0 til 7 m/km. Á Mynd 3 má sjá langsnið af farvegi Þjórsár þar sem farveginum hefur verið skipt upp í 11 búta þar sem halli farvegarins er svipaður: 1) 4,1 m/km, 2) 6,7 m/km, 3) 1,3 m/km, 4) 4,5 m/km, 5) 30 m/km, 6) 0 m/km, 7) 6,9 m/km, 8) 1,3 m/km, 9) 11,7 m/km og 10) 0,8 m/km. Halli farvegar stjórnar straumhraða og þar með flutningsgetu árinna. Straumvatn getur verið að rjúfa á einum stað, þar sem halli er mikill eða farvegur er þröngur, og leggja af sér á öðrum stað innan vatnasviðsins, þar sem halli lands minnkar. Þetta hefur áhrif á útlit farvegar og búsvæði lífvera.



Mynd 3. Langsnið eftir farvegi Þjórsár. *Longitudinal section of Þjórsá river.* Mynd/figure: Theodór Theodórsson, Landsvirkjun, 2016.

Ofan við ármót Þjórsár og Svartár, um 40 km neðan við upptökin, kvíslast Þjórsá um áraura sem myndast þegar rof máttur árinna annar ekki því framboði sem er til staðar af jökulaur. Næstu 22 km neðan við ármótin við Svartá að fossinum Dynk þrengir aðeins að farvegi árinna og hún rennur í tiltölulega afmörkuðum farvegi sem þó hefur nokkuð mikið af stökum áreyrum inn á milli. Halli árinna á þessum stað er mestur efst, 6,7 m/km en minnkar í 1,3 m/km þar sem er Eyvafen. Neðan við Dynk að Sultartangalóni er farvegur Þjórsár í gljúfri lengst af, fellur um Gljúfurleitarfoss, en neðan hans breiðir farvegurinn aðeins úr sér litlu ofan við Lónið. Í Sultartangalóni sameinast vatn Tungnaár–Köldukvísl við Þjórsá. Neðan við Sultartangavirkjun og ofan við Bjarnalón er farvegur Þjórsár oft mjög vatnslítill þar sem megnið af vatninu fer í gegnum virkjunina í frárennisskurð sem sameinast ekki ánni fyrr en rétt ofan við Bjarnalón. Á milli Sultartangavirkjunar og Bjarnalóns er farvegur Þjórsár um 200 m breiður, farvegurinn er grunnur og botninn flatur. Vatnið sem rennur um farveginn er yfirfallsvatn frá Sultartangalóni. Frá Bjarnalóni fellur vatn á yfirfalli um farveg sem er vel afmarkaður 100–300 m á breidd niður í Þjórsárdal. Farvegurinn neðan Bjarnalóns er hallalítill þar til vatnið fellur niður á láglandið við Tröllkonuhlaup og Þjófafoss. Neðan Búrfells missir áin skyndilega rof mátt sinn þar sem landið er hallalítið og er áin er kvíslótt fyrst eftir að hún kemur niður af hálendisbrúninni. Áin rennur svo í nokkuð afmörkuðum farvegi með stökum áreyrum og eyjum, um 33 km að Árnesi, þar sem Þjórsá fellur um Búðafoss. Þjórsá fellur um Hestafoss þar sem áin fellur um Árneskvísl, sunnan Árness. Neðan Árnesflúða er halli farvegarins mjög lítill og áin breiðir úr sér í kvíslum, þar sem flutningsgeta hennar minnkar snögglega. Þannig rennur áin um 16 km leið suður fyrir Krók, en þar þrengir að henni, halli farvegarins vex og endar í Urriðafossi. Litlu fyrir neðan Urriðafoss breikkar farvegurinn og halli hans minnkar. Um leið missir áin burðargetu sína og kvíslast um þar til hún nær ósum við ströndina.



Mynd 4. Langsnið eftir farvegi Tungnaár. *Longitudinal section of Tungnaá river.* Mynd/figure: Theodór Theodórsson, Landsvirkjun, 2016.

Tungnaá á upptök sín í Tungnaárjökli í vestanverðum Vatnajökli. Efstu drög hennar eru í um 890 m h.y.s. og farvegurinn er um 126 km langur. Tungnaá og Efri Þjórsá sameinast í um 300 m h.y.s. í Sultartangalóni. Að meðaltali lækkar farvegur Tungnaá um 4,7 m/km. Mest er lækkunin 21 m/km við Jökulgrindur og Sigöldu. Á efstu 8 km farvegarins lækkar hann um 9 m/km, næsta hallabreyting er við Jökulgrindur, um 21 m/km. Þá kemur um 70 km langur flatur kafli með halla frá 1-4 m/km og liggur hann á milli Grænafjallgarðs og Snjóöldufjallgarðs og suður fyrir Snjóöldu. Þar eykst halli farvegarins í 9 m/km við Vesturbjalla. Við Sigöldu og Hrauneyjafoss er halli farvegarins um 21 m/km, en minnst af vatninu fer um farvegin heldur í gegn um Krókslón og Hrauneyjafossflón. Frá Sporðöldulóni er halli farvegarins 2 til 8 m/km, en í þeim farvegi er nú einungis um lítið grunnrennsli/leka að ræða sem var tekin framhjá Sporðöldulóni að tillögu sérfræðinga Veiðimálastofnunar sem tilraun til að viðhalda vistrennsli í farveginum (Benóný Jónsson o.fl., 2016).

Tungnaá flæmist um kvíslóttan farveg sinn sem er frá 400 m til 1,3 km að breidd. Farvegurinn er dæmigerður fyrir jökulá sem ber með sér mikið magn gruggs og rennur um hallalítið landslag. Aðeins þrengir að ánni neðan við Skyggnisvatn og halli landsins eykst. Þar rennur áin meira eða minna í einum farvegi og hefur ekki tækifæri á að flæmast um þar til vatnið endar í Krókslóni. Þá er för þess um náttúrulegan farveg straumvatnsins á enda.

Kaldakvísl og Sveðja falla úr Köldukvíslarjökli í vestanverðum Vatnajökli. Þær renna í Hágöngulón, þar sem vatn safnast fyrir og er miðlað neðar á vatnasviðið þegar rennsli á vatnasviði Þjórsár–Tungnaár fer að minnka á haustin. Á meðan jökulvatn safnast saman í

Hágöngulón er tært bergvatn í farvegi Köldukvíslar, sem er afmarkaður og fremur brattur. Áin breiðir aðeins úr sér um 20 km neðan við Hágöngulón og setmyndun verður á áreyrum. Ofan við Sauðafellslón sameinast Kaldakvísl vatni úr Kvíslaveitum (Illugaverskvísl) rétt áður en vatnið streymir inn í Sauðafellslón og þaðan í Þórisvatn.

2.1 Virkjanasaga Tungnár og Þjórsár

Yfirlit yfir virkjanasögu Tungnaár- og Þjórsárvæðisins var nýlega tekin saman (Hugrún Gunnarsdóttir, 2016). Hér eru dregnar saman helstu upplýsingar sem fram koma í þeirri samantekt, um helstu framkvæmdirnar og tímasetningar þeirra.

Þegar þetta er ritað hafa verið reistar sex vatnsaflsvirkjanir á Þjórsár- og Tungnaárvæðinu (Tafla 2). Upphaf virkjanasögunnar má rekja til byggingar Búrfellsstöðvar á árunum 1966 til 1972. Skömmu síðar var hafist handa við byggingu Þórisvatnsmiðlunar, þar sem jökulvatni Köldukvíslar var veitt til Þórisvatns (sem fyrir var bergvatn) og lokuvirki byggt við Vatnsfell til að stjórna vatnsrennsli úr Þórisvatni. Lauk þeim framkvæmdum árið 1972. Næstu árin voru byggðar tvær virkjanir í Tungnaá, Sigöldustöð (1973 til 1978) og Hrauneyjafossstöð (1978 til 1981). Tungnaá var stífluð við Sigöldu og Krókslón var myndað árið 1977, en einnig var vatni miðlað úr Þórisvatni. Hrauneyjalón var myndað árið 1981 og nýtir það vatnið úr Krókslóni. Sultartangalón var myndað árið 1983 við ármót Þjórsár og Tungnaár. Fyrstu fjórir áfangar Kvíslarveitu stóðu yfir á árunum 1981 til 1986, þar sem bergvatni var veitt af austurhluta vatnasviðs Efri Þjórsár til Þórisvatns. Fimmti áfangi Kvíslarveitu var tekinn í gagnið sumarið 1997 þegar nyrstu jökulkvíslum Þjórsár var veitt um Kvíslaveitu í Þórisvatn. Framkvæmdir héldu áfram og var Kaldakvísl stífluð við Hágöngur og þar myndað uppistöðulón. Þeim framkvæmdum lauk árið 1998. Sultartangastöð var svo opnuð árið 1999 og Búrfellsstöð jafnframt stækkuð. Vatnsfellsstöð var opnuð tveimur árum seinna, 2001, og síðast var bætt við raforkuframleiðslu á svæðinu þegar Búðarhálsstöð var tekin í notkun árið 2014, eftir myndun Sporðöldulóns.

Á Þjórsár- Tungnaárvæðinu eru tvö stór miðlunarlón, Hágöngulón og Þórisvatn. Lón á Kvíslaveitusvæðinu eru lítil gegnumstreymislón og Krókslón, Hrauneyjalón, Sultartangalón og Bjarnarlón eru inntakslón fyrir virkjanirnar. Lón þessi hafa litla sem enga miðlunargetu. Þórisvatn er annað stærsta vatnsmiðlunarlón landsins, með 1510 Gl miðlunargetu, á eftir Háslóni sem er 2200 Gl. Fyrir virkjun var Þórisvatn 70 km² en er nú allt að 92 km² þegar það er í fullri hæð. Þórisvatn var stækkað smám saman með auknu aðrennsli frá Köldukvíslarveitu og Kvíslarveitum og stíflumannvirkjum. Þórisvatn var tært stöðuvatn áður en Köldukvísl, og seinna hluta Þjórsár með Kvíslarveitum, var veitt í það. Hágöngulón er að öllu leyti manngert, 34 km² með 320 Gl miðlunargetu. Það myndaðist þegar stífla var byggð í farvegi Köldukvíslar við Syðri-Hágöngur. Vatni sem áður rann um farveg Köldukvíslar, er safnað í Hágöngulón á sumrin og er miðlað niður í vatnakerfið á veturna. Því er rennsli í Köldukvísl lítið á sumrin miðað við það sem var fyrir myndun Hágöngulóns.

Eins og sagt er frá í kafla 1.3 miðar fyrsta mat á álagi af völdum rennslisbreytinga (WDF CIS, 2015) við eftirfarandi breytur: heildarvatnsmagn í uppistöðulónum, stífluhæð (vísbending um miðlunargetu) og lengd farvega sem hafa orðið fyrir breytingum. Meðalársrennsli í Þjórsá við Urriðafoss frá 1959–2015 er 342 m³/s (Landsvirkjun, 2016a) og því er heildarvatnsmagn sem

berst fram með Þjórsá á ári hverju 10800 Gl. Heildarvatnsmagn í uppistöðulónum á Efra-Þjórsársvæðinu er 2358 Gl (Hugrún Gunnarsdóttir, 2016), eða um 21% af árlegu heildarvatnsmagni Þjórsár. Samtals er miðlunargeta á Þjórsársvæðinu 1820 Gl á ári (Hugrún Gunnarsdóttir, 2016) eða um 17% af árlegu heildarvatnsmagni Þjórsár.

Tafla 2. Yfirlit yfir framkvæmdir á Þjórsár – Tungnaásvæðinu frá því virkjunarsaga hófst þar. *An overview of Þjórsá–Tungnaá construction history.* Lítillega breytt frá/*slightly changed from*: Hugrún Gunnarsdóttir (2016).

Stöð	Lón	Byggingarár	Miðlun Gl	Flatarmál km ²
Búrfellsstöð	Bjarnalón	1969	7,0	1,0
Sultartangastöð	Sultartangelón	1999	102	20,0
Búðarhálsstöð	Sporðöldulón	2014	26,0	7,0
Hrauneyjafossstöð	Hrauneyjalón	1981	34,9	9,0
Sigöldustöð	Krókslón	1977	150	14,0
Vatnsfellsstöð	Vatnsfellslón	2000	3,1	0,6
Þórisvatnsmiðlun	Þórisvatn	1972/2002	1512	92,0
Sauðafellsveita	Sauðafellslón		22,4	5,2
Kvíslaveita	Stóraverslón	1980-1985	9,0	2,9
Kvíslaveita	Kvíslavatn		150	25,0
Kvíslaveita	Eyvindarlón	1984	2,7	0,1
Kvíslaveita	Hreysislón	1985	2,0	0,5
Kvíslaveita	Þjórsárlón	1997	15,2	3,5
Hágöngumiðlun	Hágöngulón	1998	322	34,0

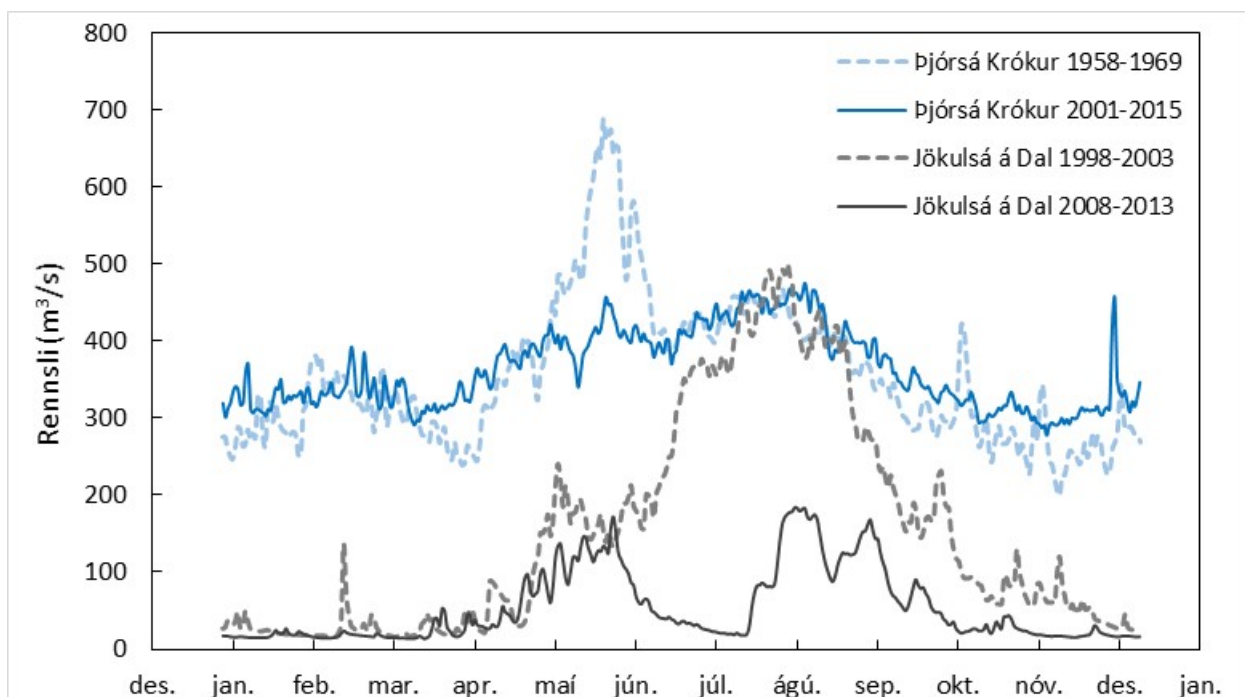
Stíflur á Efra-Þjórsársvæðinu eru frá 7 til 44 metra háar. Lægstar eru nokkar jarðvegstíflur í Kvíslarveitu (7–9 m) en hæstar eru stíflur við Vatnsfell, Sigöldu og Búrfell (30–44 m) (Hugrún Gunnarsdóttir, 2016). Lengd breyttra farvega í Tungnaá eru um 30 km og allur farvegur Köldukvíslar frá upptökum er breyttur eftir að Hágöngulón var tekið í notkun (Mynd 4). Efstu 50 km af Efri-Þjórsá er óraskaður, að efstu Kvíslarveitum. Eftir það, að Búrfellsvirkjun, er lengd farvega með breyttu rennsli um 100 km (Mynd 3). Samtals er rennsli í um 48% af lengd farvega í Þjórsá, Köldukvísl og Tungnaá raskaður frá upptökum til ósa.

Áhrif virkjana má einnig sjá á farvegi Neðri-Þjórsár þar sem rennsli hefur jafnast út sökum vatnsmiðlunar. Framburður svifaus neðan virkjana er einnig minni en áður sem hefur áhrif á rofmátt árinna (Esther Hlíðar Jenssen, 2014). Hvort allur farvegur Þjórsár neðan Búrfells er raskaður skv. skilgreiningum Vatnatilskipunar fer eftir áhrifum rennslisbreytinganna á lífríki Þjórsár neðan Búrfells, en flokkun Vatnatilskipunar tekur fyrst og fremst mið af gögnum um gæðabætti úr lífríkinu.

3. Aðferðir

3.1 Vísbendingar um vatnsformfræðilegar breytingar (IHA).

Nýting vatns getur leitt til mikilla breytinga í farvegum straumvatna. Ólíkt vatni sem notað er til vökvunar á landbúnaðarsvæðum endar vatn sem nýtt er til raforkuframleiðslu að lokum í farveginum neðan virkjana og berst til sjávar, þrátt fyrir breytt rennslismynstur og rennslisleiðir. Mynd 5 sýnir meðalrennsli Þjórsár við Krók á tímabilinu 1958–1969 og 2001–2015 (Landsvirkjun, 2016a) og meðalrennsli Jökulsár á Dal 1998–2003 og 2008–2013 (Eydís Salome Eiríksdóttir, 2016). Ferlarnir sýna breytingar sem hafa orðið eftir virkjanir í vatnföllunum tveimur. Áhrifa virkjana í Þjórsá má helst sjá í hærri vetrarrennsli eftir virkjanir en einnig sést að vorleysingartoppins, sem var áberandi í Þjórsá fyrir virkjun, gætir ekki á rennslisferlinum frá 2001 til 2015. Það gæti hvort tveggja stafað af loftslagsbreytingum vegna minni uppsöfnunar snævar á vatnasviðinu og meiri söfnunar og miðlunar vatns á vatnasviðinu. Breytingar á rennsli Jökulsár á Dal fyrir og eftir virkjun eru mun meiri þar sem sumartoppurinn hefur verið sneiddur af þar sem allri snjó- og jökulbráð er safnað í Háslón. Mikilvægt er að geta greint breytingar á vatnshlotum sem verða af völdum vatnsnýtingar og áhrif þeirra á lífríki vatnanna.



Mynd 5. Meðalrennsli Þjórsár við Krók og Jökulsár á Dal, fyrir og eftir virkjanir. *Average annual discharge of Þjórsá at Krókur and Jökulsá á Dal.*

Sú aðferð sem mest hefur verið notuð í Evrópu til að meta breytingar á vatnsformfræði vatnshlota kallast „The Indicators of Hydrologic Alteration“ (IHA) (Richter o.fl. 1996; 1997). Hægt er að nálgast forrit sem greinir þessar breytur út frá dagsmeðalrennsli á heimasíðu The Nature Conservancy (IHA 7). Með forritinu er hægt að greina dagsmeðalrennsli straumvatna yfir langt tímabil og draga saman upplýsingar um vatnafar sem eru mikilvægar við vistfræðilegar greiningar (The Nature Conservancy, 2009). Forritið reiknar 67 breytur sem flokkaðar eru í tvo hópa, IHA breytur (Indicators of Hydrologic Alteration) og EFC breytur (Environmental Flow

Component). Það eru 33 IHA breytur og 34 ECF breytur. Forritið býður upp á möguleika á að greina á milli tveggja rennslistímabila, t.d. fyrir og eftir virkjun, eða að greina hæga breytingu yfir langt tímabil, t.d. ef um síaukna nýtingu vatns er um að ræða. Helstu takmarkanir aðferðarinnar eru hve langar rennslisráðir þarf til greininganna. Einnig nær aðferðin illa að meta litlar rennslisbreytingar s.s. vegna útleysingar við virkjanir (hydropeaking) og getur aðeins metið samskipti grunnvatns og yfirborðsvatns óbeint.

Í leiðbeiningarriti The Nature Conservancy (2009) eru dregnar saman upplýsingar sem nýtast til greininga á breytingum á vatnsformfræði vatnshlota. Upplýsingar hér að neðan eru samantekt úr því riti. Teknar hafa verið saman breytur sem lýsa rennsli og rennslisbreytingum og tengingu þeirra á vistkerfi vatnshlota (Tafla 3 og Tafla 4; The Nature Conservancy, 2009).

Tafla 3 sýnir svokallaðar EFC breytur (Environmental Flow Component) sem IHA forritið reiknar og hafa verið notaðar við að greina vatnsformfræðilega eiginleika vatnshlota og breytingar á þeim. Þær eru 34 talsins og eru flokkaðar í fimm flokka: 1) meðal-lágrennsli (low flows) sem er skilgreint sem ríkjandi rennsli straumvatnanna, 2) mjög lágt rennsli sem einkennir þurrkatímabil (extreme low flows), 3) hárennslispúlur sem einkenna tímabil með mikilli úrkomu/snjóbráð (High-flow pulses), 4) lítil flóð, sem ná út á flóðasléttuna (small floods) og 5) stór flóð (large floods), sem endurmóta árfarvegi og hafa áhrif á lífríki og eðli þeirra, og geta beinlínis skolað lífverum út af vatnasviðum. Við mat á rennslisbreytingum er nauðsynlegt að hafa langtíma samfellu í mælingum á náttúrulegu rennsli straumvatnanna sem um ræðir.

Í forritinu er hægt að stilla hvernig skipt er á milli flokkanna en í þessari skýrslu er notast við staðlaðar skilgreiningar í forritinu. Þar er rennsli fyrst skipt upp þannig að hárennsli er skilgreint sem rennsli yfir 75% af dagsmeðalrennsli tímabilsins og lágrennsli er undir 50% af dagsmeðalrennsli tímabilsins. Hraði rennslisbreytinga er einnig mikilvægur í greiningu rennslis og eru hárennslispúlur skilgreindir sem rennslisaukning yfir 25% á dag. Lítil flóð eru skilgreind sem hárennslispúlur með meira en tveggja ára endurkomutíma og stór flóð sem hárennsli með meira en 10 ára endurkomutíma. Mjög lágt rennsli (extreme low flow) er skilgreint sem rennsli undir 10% af dagsmeðalrennsli tímabilsins. Viðsnúningar í rennsli eru metnir úr frá tímabilum innan vatnsárs þar sem dagsmeðalrennsli annað hvort hækkar eða lækkar. Fjöldi viðsnúninga í rennsli (reversals) er sá fjöldi skipta sem rennsli hækkar eða lækkar úr einum rennslisflokki í annan (t.d. úr meðal-lágrennsli yfir í hárennslispúl, eða öfugt).

Tafla 4 sýnir svokallaðar IHA breytur (Indicators of Hydrologic Alteration) sem eru 33 í fimm flokkum: 1) miðgildis eða meðaltalrennsli, 2) há og lágrennslistímabil, 3) tímasetning há- og lágrennslis, 4) tíðni og lengd lág- og hárennslistímabila, og 5) tíðni og hraði rennslisbreytinga, og fjöldi viðsnúninga í rennsli. Þessar breytur geta hjálpað til við að meta breytingar á vatnsformfræði vatnshlota. Hægt er að nota meðaltal eða miðgildi rennslis til að greina breytingarnar og er mælt með því að nota miðgildi og hundraðshlutamörk (non-parametric statistics), þar sem rennslismeðaltöl eru oftast en ekki skekkt (ekki normaldreifð). Normaldreifing gagna er lykilatriði ef nota á meðaltalsgildi. Þó eru 1 til 30 daga há- og lágrennsli reiknuð út frá meðaltalsgildum, og mikilvægt er að nota meðaltöl (parametric statistics) ef skoða á sérstaklega flóðatíðni og mánaðarlegt meðal-rúmmálsrennsli straumvatna.

Tafla 3. EFC breytur (Environmental flow component) og tenging þeirra við vistfræði vatnshlota og nánasta umhverfis þeirra. *Environmental flow component and the connection with ecological systems.*

<u>EFC breytur</u>	<u>Vatnafarsbreytur</u>	<u>Áhrif á vistkerfi</u>
1. Mánaðarlegt lágreynslí	Meðaltal eða miðgildi lágreynslis hvers mánaðar. Samtals 12 breytur.	Skapar búsvæði við hæfi fyrir vatnalífverur Hefur áhrif á vatnshita, uppleyst súrefni og styrk uppleystra efna í vatni Hefur áhrif á grunnvatnsstöðu á flóðasléttum og jarðvegsrekju fyrir plöntur Viðheldur framboði drykkjarvatns fyrir landdýr Hefur áhrif á flæði vatns að búsvæðum fiska og hrogn þeirra Gerir fiski kleift að fara um fæðusvæði og á hrygningarsvæði Viðheldur búsvæðum fyrir lífverur sem lifa í vatnsmettuðu seti (hyporeic)
2. Óvenju lágt rennsli	Tíðni tímabila þar sem rennsli er óvenju lágt yfir árið eða fyrir hverja árstíð Meðaltal eða miðgildi tímabila með óvenju lágt rennsli • Tímalengd (dagar) • Lægsta rennsli hvers atburðar • Tímasetning (júlíanskur dagur þegar lægsta rennsli á sér stað) Samtals 4 breytur.	Opnar möguleika á nýliðun plantna á flóðasléttum. Vinsar úr ágengar, aðfluttar tegundir í vatni og af bökkum straum- og stöðuvatna Eykur þéttleika bráðar á takmörkuð svæði þannig að rándýr eiga betir aðgang að bráð Getur haft áhrif á stærð búsvæða vatnalífvera
3. Hárennslispúlsar	Tíðni hárennslispúlsa á vatnsári/árstíð Meðatal eða miðgildi hárennslispúlsa: • Tímalengd púlsa • Topprennsli hvers púl • Tímasetning (júlíanskur dagur) • Hraði aukningar og fallanda í rennsli Samtals 6 breytur.	Stjórnar lögun farvega, hylja og grynninga Stjórnar grófleika botns (sandur, mól, steinar) Getur haft neikvæð áhrif á vatnalífverur, lífverur skolast burt eða daga uppi þegar vatn sjatnar. Varnar því að gróður á árbakka þrenji að farvegi Endurheimtir vatnsgæði eftir langvarandi lágreynslí og skolar burt úrgangi og mengandi efnum Kemur í veg fyrir setmyndun fíns efns. Viðheldur viðeigandi seltu í árósum
4. Lítil flóð	Tíðni lítilla flóða á vatnsári/árstíð Meðatal eða miðgildi hárennslispúlsa: • Tímalengd púlsa • Topprennsli hvers púl • Tímasetning (júlíanskur dagur) • Hraði aukningar og fallanda í rennsli Samtals 6 breytur.	Auðveldar fiski að ganga á hrygningarsvæði Hrindir af stað nýjum skeiðum í lífsferlum t.d. skordýra Gerir fiskum kleift að hrygna á flóðasléttum og og býður upp á uppeldisstöðvar fyrir seiði Býður upp á nýjar fæðuslóðir fyrir fiska og vatnafugla Eykur hæð grunnvatns á flóðasléttum Viðheldur fjölbreytileika í skógum á flóðasléttum með löngum tímabilum með hárri vatnsstöðu á flóðsléttu.
5 Stór flóð	Tíðni lítilla flóða á vatnsári/árstíð Meðatal eða miðgildi hárennslispúlsa: • Tímalengd púlsa • Topprennsli hvers púl • Tímasetning (júlíanskur dagur) • Hraði aukningar og fallanda í rennsli Samtals 6 breytur.	Áhrif á vistkerfi þau sömu og af litlum flóðum hér að ofan.
Heildarfjöldi samtals 34 breytur		

Tafla 4. IHA breytur (Indicator of Hydorlogical Alteration) og tenging þeirra við vistfræði vatnshlota og næsta nágrennis þeirra. *Indicators of Hydorlogical Alteration and the connection with ecological sysems.*

<u>IHA breytur</u> <u>Hópur</u>	<u>Vatnafarsbreytur</u>	<u>Áhrif á vistkerfi</u>
1. Breytileiki í mánaðarrennsli	Meðaltal eða miðgildi rennsli í hverjum mánuði. _____ Samtals 12 breytur.	Framboð á vistkerfum fyrir vatnalífverur. Jarðvegsrekja fyrir plöntur. Vatnsframboð fyrir landdýr. Aðgengi rándýra að fæðuslóð. Hefur áhrif á vatnshita, uppleyst súrefni og ljóstillífun í vatni.
2. Tímabil öfgakenndra rennslisaðstæðna í vatnakerfum	Árlegt lággildi, eins dags meðaltal Árlegt lággildi, þriggja daga meðaltal Árlegt lággildi, sjö daga meðaltal Árlegt lággildi, 30 daga meðaltal Árlegt lággildi, 90 daga meðaltal Árlegt hággildi, eins dags meðaltal Árlegt hággildi, þriggja daga meðaltal Árlegt hággildi, sjö daga meðaltal Árlegt hággildi, 30 daga meðaltal Árlegt hággildi, 90 daga meðaltal Fjöldi daga með ekkert rennsli Grunnrennslisstuðull: sjö daga lágrennsli ársins/miðgildi ársrennsli _____ Samtals 12 breytur.	Heldur jafnvægi á milli samkeppnishæfra og þolinna tegunda. Eykur möguleika á dreifingu plantna. Uppbygging vistkerfa út frá ólífrænum vs. lífrænum kerfum. Álag á plöntur vegna jarðvegsrekju (eða skorts á...). Getur valdið dauða vatnalífvera. Álag á plöntur vegna súrefnisfyrirtra aðstæðna. Næringarefnaskipti á milli flóðasléttu og árvatns. Tímalengd með miklu álagi á vatnakerfið, s.s. súrefnisfirrð og hár styrkur uppleystra efna í vatni. Dreifing plantna í stöðuvötnum, tjörnum og flóðasléttum.
3 Tímasetning á öfgakenndum rennslisaðstæðum í vatnakerfum.	Júlíanskur dagur hvers árs: 1-dags hárennsli Júlíanskur dagur hvers árs: 1-dags lágrennsli _____ Samtals 2 breytur.	Samræming við lífsferla lífvera. Eykur eða minnkar líkur á álagi á lífverur. Stjórnar aðgengi að búsvæðum á æxlunartímabilum og/eða varnar afráni. Hrygningu göngufiska. Þróun á lífverutegunda, hegðunarmynstur.
4 Tíðni og tímalengd tímabila með há- og lágrennsli	Fjöldi lágrennslistímabila innan eins vatnsárs Lengd lágrennsli (fjöldi daga) Fjöldi hárennslistímabila innan eins vatnsárs Lengd hárennsli (fjöldi daga) _____ Samtals 4 breytur.	Tíðni og umfang þurrka á jarðveg og plöntur. Tíðni og umfang súrefnisþurrðar á jarðveg og plöntur. Framboð á búsvæðum á flóðasléttu. Efnaskipti á milli árvatns og flóðasléttu. Framboð á jarðvegsefni. Aðgengi vatnafugla að fæðu- og hreiðursvæðum. Hefur áhrif á botnskrið, lögun farvega og tímalengd á efnisflutningum innan farvega.
5 Hraði og tíðni rennslisbreytinga	Hraði rennslisaukningar: Meðaltal eða miðgildi rennslisaukningar (m³) frá einum degi til annars Hraði rennslisfallanda: Meðaltal eða miðgildi rennslisminnkunar (m³) frá einum degi til annars. Fjöldi „viðsnúninga“ í rennsli _____ Samtals 3 breytur. Heildarfjöldi samtals 33 breytur	Álag á plöntur vegna þurrka (minnkandi rennsli). Lífverur í sjálfheldu á eyjum eða á flóðasléttu. Álag á lífverur sem búa við jaðar straumavatna.

Samfella í rennsli straumvatna er sá þáttur sem er mikilvægastur lífríki sem aðlagð er að því umhverfi. Margar tegundir ferskvatnsfiska ganga til sjávar en koma aftur upp í árnar til hrygninga. Öll hindrun rennslis, hversu lítilvæg sem er, getur verið ófiskgeng og þannig tekið fyrir nýliðun margra tegunda. Því þarf fyrst og síðast að gæta þess að samfelli í rennsli straumvatna og gæta þess að framkvæmdir hindri ekki far fiska á búsvæðin.

Til að viðhalda sem náttúrulegustu aðstæðum innan straumvatna sem eru nýtt af mannavöldum er mikilvægt að rennslissveiflur séu sem náttúrulegastar. Flóð í straumvötnum eru mikilvæg fyrir lífríki straumvatna og nágreinnis þeirra (Tafla 3 og Tafla 4) og eykur möguleika á búferlaflutningum, hrindir af stað nýjum skeiðum í lífsferlum t.d. skordýra, býður upp á uppeldisstöðvar fyrir seiði, nýjar fæðuslóðir fyrir fiska og vatnafugla auk þess sem það eykur hæð grunnvatns á flóðasléttum og viðheldur fjölbreytileika á flóðasléttum með löngum tímabilum með hárri vatnsstöðu á flóðsléttu (The Nature Conservancy, 2009). Tímabil með óvenju lágu náttúrulegu rennsli eru einnig mjög mikilvæg fyrir lífríki straumvatna (Tafla 3 og Tafla 4). Það eykur möguleika á nýliðun plantna á flóðasléttum, vinsar úr ágengar, aðflutta lífveruhópa í vatni og af bökkum straum- og stöðuvatna. Þrátt fyrir það er lágreennsli mjög takmarkandi fyrir vatnalífverur og stærð búsvæða þeirra til lengri tíma litið og meðal-lágreennsli og hárennslispúlsar eru líklega mikilvægasta rennslisform straumvatna fyrir vatnalífverur. Meðal-lágreennsli skapar búsvæði við hæfi vatnalífvera á svæðinu og hefur áhrif á vatnshita, uppleyst súrefni og styrk uppleystra efna í vatni, grunnvatnsstöðu á flóðasléttum og jarðvegsrekju fyrir plöntur, viðheldur framboði drykkjarvatns fyrir landdýr, heldur vatni á búsvæðum fiska og hroga þeirra, gerir fiski kleift að fara um fæðu- og hrygningarsvæði og viðheldur búsvæðum fyrir lífverur sem lifa í vatnsmettuðu seti. Hárennslispúlsar stjórna lögun farvega, hylja og grynninga, grófleika botns, varnar því að gróður á árbakka þrengi að farvegi, veldur endurheimtum á vatnsgæðum eftir langvarandi lágreennsli og skolar burt úrgangi og mengandi efnum og kemur í veg fyrir setmyndun fins efnis.

Mat á áhrifum af breyttu rennsli á vistkerfi vatnsfalla ætti helst að vera hægt að kortleggja með því að vakta líffræðilega gæðapætti sem eru viðkvæmir fyrir breytingum á rennsli. Það hefur þó ekki gengið sérstaklega vel þar sem rannsóknir hafa sýnt að margir líffræðilegir gæðapættir eru ónæmir fyrir helstu rennslisbreytingum. Eins eru líffræðilegir gæðapættir viðkvæmir fyrir áhrifum sem oft verða í kjölfar rennslisbreytinga af mannavöldum, t.d. seiðasleppingum, stangveiði eða af framandi lífverutegundum sem ná fótfestu á vatnasviðinu eftir rennslisbreytingarnar, og breytingar á líffræðilegum gæðapáttum er því oft ekki bein afleiðing af rennslisbreytingunum sem slíkum (t.d. Poff og Zimmerman, 2010). Þess vegna er ekki hægt að miða einvörðungu við líffræðilega gæðapætti til að meta hvort vatnshlot er undir álagi af vatnsformfræðilegum breytingum eða ekki.

Við mat á vistrennsli hafa þrjár aðferðir helst verið notaðar: 1) aðferðir vatnafarsfræði (hydrological), 2) samband rannsókna á vatnafari og búsvæðum lífvera innan vatnshlotanna (hydraulic-habitat) og 3) heildræn rannsókn sem tekur til áhrifa mannsins á rennsli vatnsfalla og þ.a.l. vistkerfi þeirra (holistic). Mælingar á vatnafari (hydrological) er ódýrasta og fljótlegasta leiðin til að meta breytingar á rennsli og er grundvallarforsenda aðferðarinnar sú að í hverju vatnsfalli þurfi að gæta að öllum rennslispáttum, til lengri og skemmti tíma, til að viðhalda vistkerfi vatnsfallsins í góðu ástandi. Það þýðir að rennslisstýring vatnsfalla þarf að endurspegla

sem náttúrulegusta rennsli á hverjum tíma (Poff, o.fl., 1997). Rennslisstýring vatnsfalla hefur þróast frá því að viðhalda aðeins jöfnu lágrennsli í vatnsföllum yfir í að viðhalda sem náttúrulegustu rennslissveiflum í vatnsfallinu til að reyna að tryggja gott ástand vistkerfa og sjálfbærna nýtingu vatnsfallanna (Richter, 2009; Richter o.fl., 2011).

3.2 Líffræðilegar breytur

Samkvæmt lögum um stjórn vatnamála (lög nr. 36/2011) skal vatnshlotum skipt upp í fimm gæðaflokka m.t.t. vistfræðilegs ástands þeirra. Flokkarnir eru: mjög gott, gott, ekki viðunandi, slakt og lélegt ástand. Vistfræðilegt ástand er metið út frá ástandi mismunandi lífveruhópa.

Teknar hafa verið saman fyrirbyggjandi upplýsingar um þær líffræðilegu breytur sem nota skal við mat á vistfræðilegu ástandi vatnshlota á Íslandi (Elísabet R. Hannesdóttir og Jón S. Ólafsson, 2014; Friðþjófur Árnason, 2014; Gunnar Steinn Jónsson, 2014; Þórólfur Antonsson o.fl. 2014). Þær líffræðilegu breytur sem nota á við mat á vistfræðilegu ástandi vatnshlota eru fiskar, hryggleysingar og þörungar.

Ástand fiskstofna í stöðuvötnum er fyrst og fremst metið eftir samsetningu (t.d. fjöldi tegunda), magni og aldurssamsetningu (Friðþjófur Árnason, 2014). Botnhryggleysingar skal einnig nota til flokkunar á vatnshlotum, en botnhryggleysingar eru víða notaðir til að meta mengunarástand vatns eða við vistfræðilega flokkun þess (Elísabet R. Hannesdóttir og Jón S. Ólafsson, 2014). Vatnagróður, þ.e. þörungar og vatnaplöntur, er þriðji líffræðilegi gæðapátturinn sem nota skal þegar ástand straum- og stöðuvatnshlota er metið (Gunnar Steinn Jónsson o.fl., 2014).

Fiskar í straumvatni eru einn af þeim líffræðilegu gæðapáttum sem koma að notum þegar vistfræðilegt ástand straumvatnshlota er metið. Þórólfur Antonsson o.fl. (2014) tóku saman gögn um seiðapéttleika fyrir staumvatnshlot á láglendi, án jökuláhrifa. Um er að ræða sömu aðferð og notuð hefur verið í Noregi (Bergan, 2011). Aðferðin byggir á að laxfiskaseiðin séu vísir á bæði ástand fiskistofna almennt og vistfræðilegt ástand vatns að nokkru leyti. Péttleiki 0⁺ seiða segir til um samband nýliðunar og hrygningar og árangur hrygningar árið áður og péttleiki eldri seiða (1⁺, 2⁺ og eftir atvikum 3⁺) segir til um uppeldisskilyrði seiðanna. Seiðagögn sem Veiðimálastofnun hefur safnað um árabil voru notuð til að reikna meðalpéttleika og 5, 10 og 90% öryggismörk gagnasafnanna fyrir hverja gerð vatnshlota (Þórólfur Antonsson o.fl. 2014). Í samantekt Þórólfs og félaga (2014) kom í ljós að mikill breytileiki er innan hvers vatnshlotsflokks og skörun á milli þeirra var mikill. Ekki var marktækur munur á milli gerða nema í ákveðnum undantekningatilfellum.

Þjórsá flokkast í vatnshlota flokkinn RIL111 ásamt Ytri- og Eystri Rangá, Úlfarsá, Blöndu o.fl., sem straumvatn á láglendi (<600 m h.y.s.), undir takmörkuðum jökuláhrifum (<15% þekja á vatnasviði), á yngri berggrunni (<0,8 m ára) og undir takmörkuðum áhrifum vatna og votlendis (<12% þekja á vatnasviði) (Halla Margrét Jóhannesdóttir og Ingi Rúnar Jónsson, 2014). Aðeins fannst eitt hentugt, óraskað viðmiðunaratnshlot af þessari gerð á landinu og er það Tungufljót í V-Skaftafellssýslu (Halla Margrét Jóhannesdóttir og Ingi Rúnar Jónsson, 2014; Þórólfur Antonsson o.fl., 2014). Í samantekt Veiðimálastofnunar voru notuð gögn úr nokkrum straumvötnum af gerð RIL111, Laxá í Þingeyjasýslu, Leirvogsá, Tungufljóti, Úlfarsá, Varmá, Ytri

Rangá, Eystri Rangaá, Þjórsá og Blöndu. Sum þessara straumvatna eru undir álagi og öðrum hefur verið raskað. Í þessum straumvötnum var meðalþéttleiki fyrir 0^+ , 1^+ og 2^+ laxaseiði 13,2, 6,2 og 2,3 seiði/100 m² og staðalfrávik 13,4, 6,2 og 2,3. Meðalþéttleiki silungaseiða var 8,6, 3,2 og 0,4 seiði/100 m² og staðalfrávik 9,2, 4,4, 0,7 (Þórólfur Antonsson o.fl., 2014). Í þessum tölum eru seiðagögn úr Þjórsá en ekki kemur fram í samantektinni hvaða rafveiðistöðvar voru notaðar við þéttleikamatið, og þar af leiðandi ekki hvort seiðagögn úr Þjórsá ofan Búða voru tekin inn í það.

3.3. Vatnastjórnun í Evrópu: nokkur dæmi

Nokkrar mismundi aðferðir hafa verið þróaðar til að flokka áhrif rennslisbreytinga á vatnshlot. Árið 2012 voru teknar saman niðurstöður könnunar á rennslisstjórnun vatnshlota í löndum innan Evrópu (Sanz og Schmidt, 2012). Þar er gerð grein fyrir þeim aðferðum sem notaðar eru til að viðhalda vistrennsli vatnshlota og hér verður fjallað um aðferðir í tveimur löndum byggt á samantektinni.

3.3.1 Austurríki

Í Austurríki hafa áhrif vatnsaflsvirkjana á umhverfið verið metin og eins hafa áhrif af endurheimt lífríkis á eldri virkjanir (orkuframleiðslu) verið metin. Þar hefur verið lögð áhersla á að stjórna rennsli á þann hátt að það nái markmiðum Vatnatilskipunar um gott eða mjög gott ástand vatnshlota, í staðin fyrir að skilgreina öll vatnshlot sem hafa orðið fyrir áhrifum af manna völdum sem „mikið breytt vatnshlot“ eða „manngerð vatnshlot“. Í þann flokk falla uppistöðulón, yfirborðsvatnshlot sem verða fyrir miklum sveiflum í rennsli (útleysingum, e. hydro-peaking) og árfarvegir sem ekki reynist hægt að viðhalda rennsli í og þorna alveg upp vegna rennslisstjórnunar.

Til að straumvatnshlot hafi möguleika á að flokkast sem vatnshlot í „mjög góðu ástandi“ má rennsli þeirra aðeins breytast mjög lítið og leiðbeinandi gildi að vatnsnotkun má ekki fara yfir 20% af árlegu vatnsmagni vatnshlotsins. Frá október til mars má rennsli ekki fara undir meðalrennsli vetrarmánaða og frá apríl til september þarf rennslið að vera meira en árlegt meðalrennsli. Annars má vatnstaka aldrei vera meiri en 10% af lággildi náttúrulegs dagsrennslis.

Til að vatnshlot hafi möguleika á að flokkast sem vatnshlot í „góðu ástandi“ verður vatnsmagn og árstíðasveifla rennslis, sem og tenging yfirborðsvatns við grunnvatn að vera þannig að nánast öruggt sé að það hafi ekki neikvæð áhrif á líffræðilega gæðapætti. Miðað er við að daglegt lágrennsli lítilla straumvatna (rennsli <1 m³/s) fari aldrei undir 50% af meðaltali árlegs lágrennslis staumvatnsins. Fyrir stærri straumvötn er miðað við 33% af meðaltali árlegs lágrennslis. Miðað er við að a.m.k. 20% af raunverulegu rennsli sé sleppt framhjá stíflumannvirkjum til að viðhalda árstíðabundnum rennslissveiflum. Útleysing vatns fram hjá virkjun á hverjum tíma, má ekki vera meiri en 33% af því rennsli sem fyrir er í farveginum neðan virkjunar (1:3) og a.m.k. 80% farvegarins þarf ætíð að vera undir vatni. Tilfallandi tímabil með mjög lágu meðalrennsli ($<0,3$ m³/s) eru leyfileg, en aðeins stöku sinnum og í stuttan tíma. Hindranir af mannavöldum þurfa að vera færar lífverum allt árið og búsvæði einungis lítillaga breytt. Á hrygningartímum og ákveðnum tímum mikilvægum fyrir seiðaproska, má

lágmarksdýpt í ám þar sem fiskur þrífst, ekki fara undir 10–30 cm í flúðum en 15–40 cm í farvegi (e. thalweg), grynnt efst á vatnasviðinu en dýpra eftir því sem neðar dregur. Í Austurríki hefur ástand fiska í vatnshlotum (Fish Index Austria, FIA) verið notað til að greina frekar hvort rennsli í vatnshlotum getur talist vera vistrennsli (WISER, 2016).

3.3.2 Bretlandseyjar

Á Bretlandseyjum hafa verið þróaðir viðmiðunarkvarðar með það að markmiði að meta áhrif fyrirhugaðra rennslisbreytinga á lífríki, meta stöðu lífríkis þar sem rennslisbreytingar hafa þegar orðið og auka þekkingu á mögulegum afleiðingum rennslisbreytinga á vistkerfi, með samanburði á umfangi rennslisbreytinga og mati á ástandi vistkerfisins (The Environmental Flow Indicator; UK TAG, 2007;2008). Viðmiðunarkvarðinn (EFI) er notaður til að benda á svæði þar sem álag vegna vatnstöku getur farið að valda óæskilegum áhrifum á búsvæði árinna og vatnalífríki. Kvarðinn veitir vísbendingar um svæði þar sem endurheimt vatns á vatnasvæðum kann að vera nauðsynleg til að ná góðu vistfræðilegu ástandi vatnshlotanna. Ekki er þó gripið til mótvægisáðgerða nema fyrir liggi frekari vísbendingar sem benda til hnignunar á lífríki vatnshlotanna.

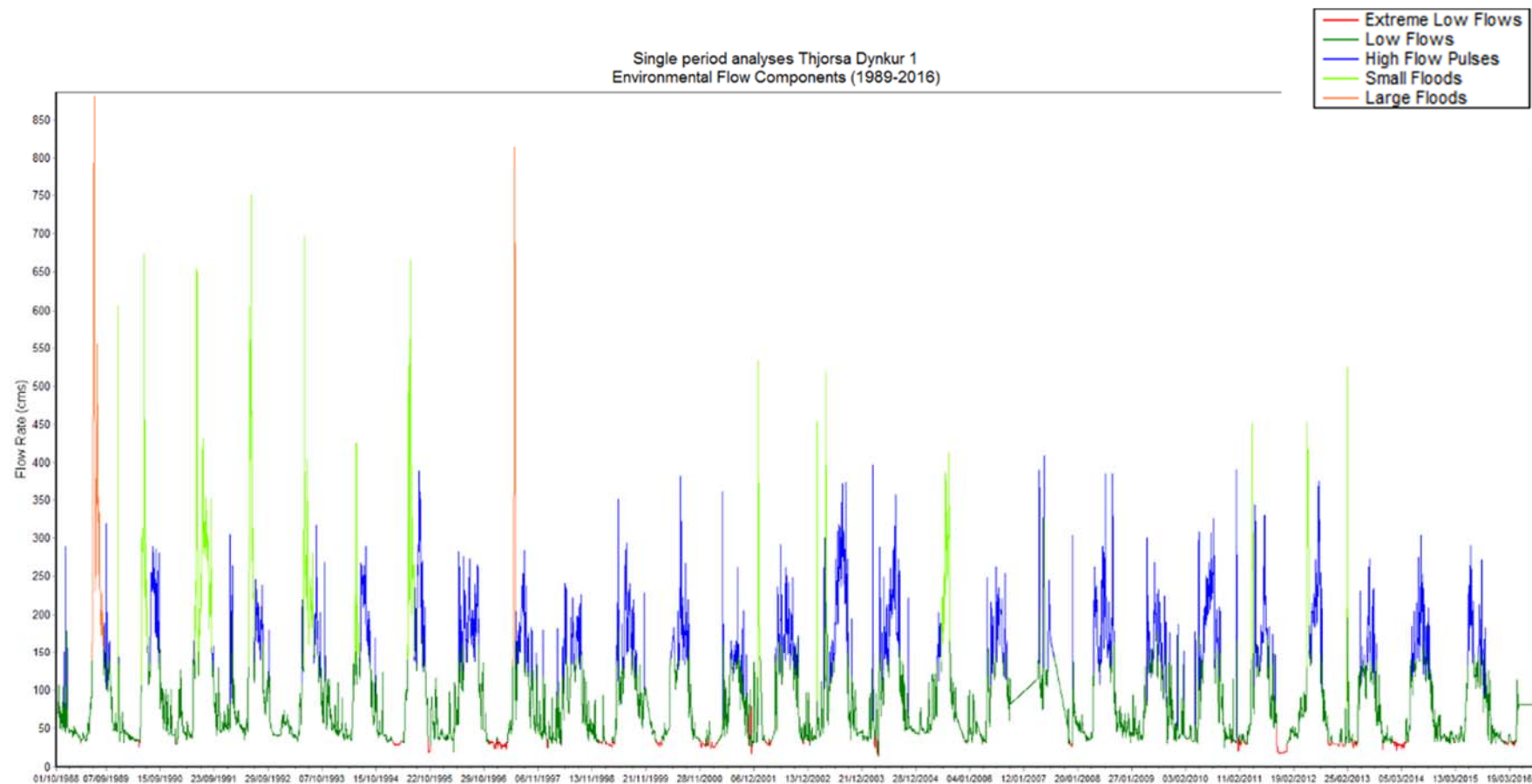
Viðmiðunarkvarðinn er byggður á langæislínu vatnsfalla (flow duration curve) yfir 10 ára tímabil. Leyfilegt frávik á náttúrulegu rennsli vatnsfallanna af mannavöldum, er mismunandi eftir berggerð á vatnasviði. Miðað er við að nota megi 10 til 30% vatns á vatnasviði, eftir rennsli á hverjum tíma, án þess að vistkerfi vatnshlotanna sé stefnt í hættu (UK TAG, 2008; Sanz og Schmidt, 2012, bls 85; WDF CIS, 2015). Frá mars til júní má vatnsskerðing vera frá 10 til 15% rennslis og frá júlí til febrúar má hún vera 15–20% rennslis við lágt rennsli (<Q95). Við hærri rennsli (>Q95) má skerða 15–25% rennsli í mars–júní og frá 20–30% rennsli í júlí–febrúar.

4. Niðurstöður

4.1 Rennsli Þjórsár

Í þessari samantekt var forritið IHA notað til að greina langtíma rennslisraðir af vatnasviðum Þjórsár og Tungnaár og meta breytingar á rennsli með tíma eins langt aftur og rennslismælingarnar náðu. Lögð var áhersla á að greina rennslisbreytingar á mismunandi stöðum ofarlega á vatnasviðunum en einnig að skoða heildarbreytingu með rennslismælum neðarlega á vatnasviðinu, fyrir neðan allar virkjanir. Landsvirkjun lagði til rennslisraðirnar eins langt aftur og þau ná á hverjum stað fyrir sig (Landsvirkjun, 2016a). Um er að ræða fimm rennslismæla, 1) Þjórsá við Dynk, 2) Tungnaá við Maríufossa, 3) Tungnaá við Sigöldufoss, 4) Þjórsá við Sandafell og 5) Þjórsá við Krók.

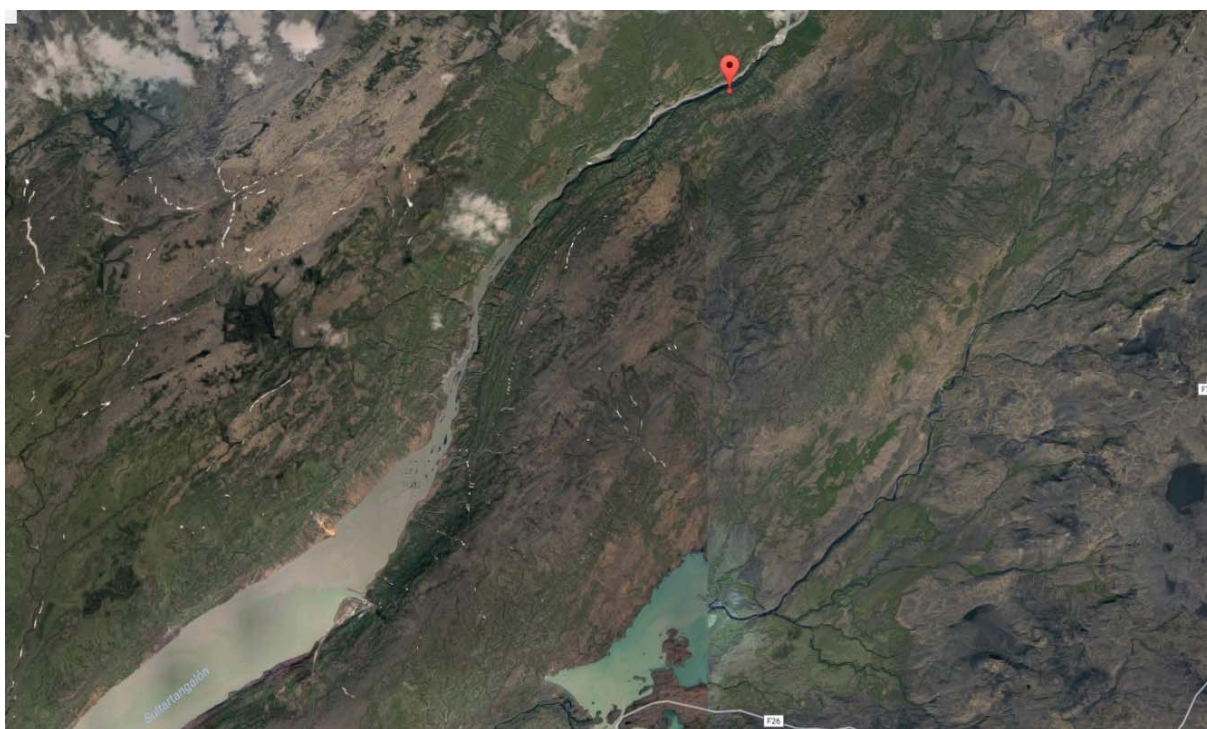
Miðgildi og hundraðshlutamark hefur verið notað frekar en meðaltal og staðalfrávik, eins og mælt er með við notkun forritsins (The Nature Conservancy, 2009) þar sem rennsli í flóðum getur skekkt dreifingu rennslis. Kaflanum er skipt í undirkafla sem fjalla um rennslisraðir frá mælistöðunum fimm. Fyrst er mynd sem sýnir rennsli sem hefur verið brotið upp í fimm flokka (EFC breytur, Tafla 3); óvenju lágt rennsli, mánaðarlegt lágrennsli, hárennslispúlsar, lítil flóð og stór flóð. Þá kemur samsett mynd með tólf smámyndum sem sýna miðgildi rennslis í hverjum mánuði síðan rennslismælingar hófust. Þar á eftir er önnur samsett mynd með þremur smámyndum sem sýna sjö daga lágrennsli og hárennsli, og fjölda skipta sem viðsnúningur hefur orðið í rennsli (skipt úr minnkandi rennsli yfir í hækkandi rennsli). Í þeim undirköflum sem fjalla um Þjórsá neðan virkjana eru birtar langæislínur sem lýsa vel rennslisbreytingum á mismunandi tímum. Einnig eru birtir ferlar með miðgildum mánaðarrennslis Þjórsár við Sandafell fyrir og eftir Sultartangavirkjun og frá mismunandi tímabilum úr Þjórsá við Krók, 1959–1969/1970–1972 (rennsli fyrir virkjun og rennsli eftir Búrfellsvirkjun), 1959–1972/1972–1977 (náttúrulegt eða nær-náttúrulegt rennsli og rennsli fyrir Sigölduvirkjun), 1958–1969/1972–1997 (náttúrulegt rennsli og rennsli fyrir Hágöngulón og Þjórsárlón), 1958–1969/1997–2015 (náttúrulegt rennsli og rennsli eftir Hágöngulón/Þjórsárlón). Þetta er gert í tilraun til að greina áhrif hvers áfanga í virkjunarsögu Þjórsár á rennsli Þjórsár. Að síðustu er birt tafla í hverjum undirkafla með miðgildi rennslis hvers mánaðar fyrir hvert ár síðan rennslismælingar hófust.



Mynd 6. Dagsmeðalrennsli í Þjórsá við Dynkur frá 1988 til 2015 (m^3/s). Tölfræðileg greining á rennslisgögnunum er notuð til að skipta rennslinu upp í fimm flokka sem lýsa rennsisháttum á mælistaðnum (Tafla 3). Rautt: óvenjulágt rennsli. Dökkgrænt: meðal-lágrennsli. Blátt: hárennslispúlsar. Skærgrænt: lítill flóð. Appelsínugult: stór flóð.
Average daily discharge in Þjórsá at Dynkur 1988–2015. Statistical analyses on the discharge data is used to divide the discharge into five categories, extreme low flows, low flows, high flow pulses, small floods and large floods.

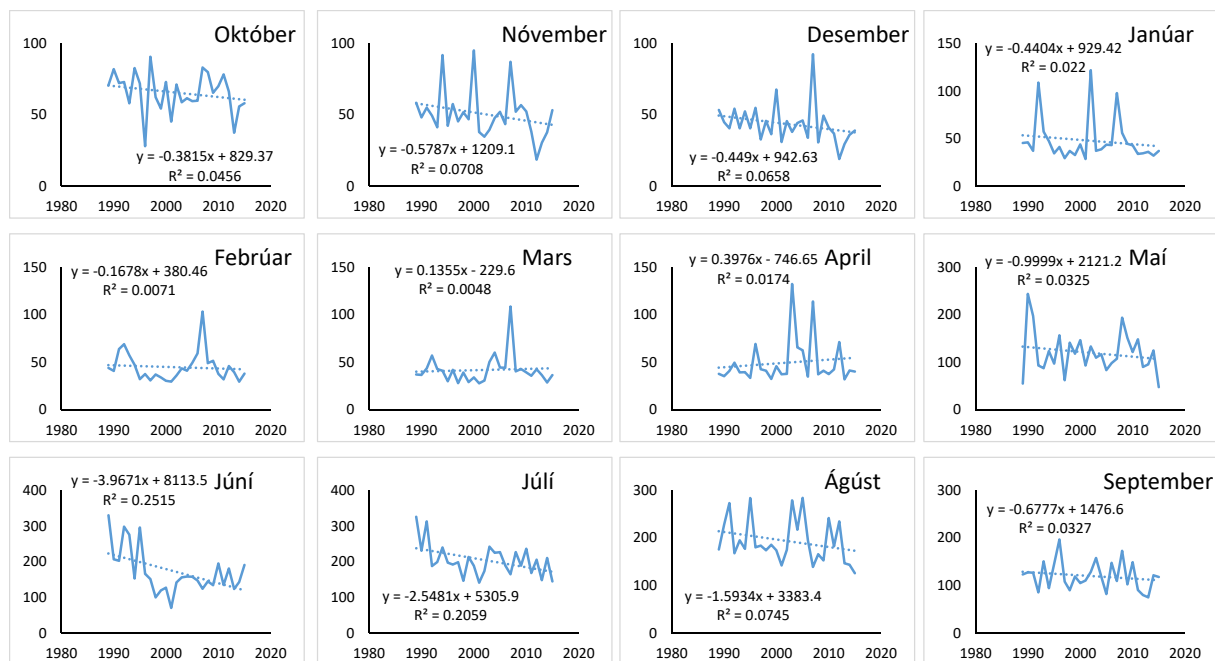
4.1.1 Þjórsá við Dynk (vatnshlot 103-950-R, Þjórsá 4)

Samfelldar rennslisraðir eru til úr Þjórsá úr vatnshæðarmæli við fossinn Dynk (hnit 64,330630°N -19,211270°V; Mynd 7) frá 1988 til dagsins í dag. Þó eru nokkrar eyður inni í röðunum, sú lengsta á árinu 2007. Mælistöðin við Dynk er ofan við Sultartangalón og mælir það vatn sem streymir eftir farvegi Þjórsár inn í lónið. Rennslisröðin nær ekki aftur til þess tíma þar sem rennsli Þjórsár við Dynk var ótruflað. Framkvæmdir við Kvíslarveitur stóðu yfir fá árinu 1980 til 1985 og síðasta framkvæmd Kvíslaveita var árið 1997 þegar Þjórsárlón var myndað. Vatn úr Kvíslaveitum veitir bergvatni frá austurhluta vatnasviðs Efri-Þjórsár og nyrstu jökulkvíslum Þjórsár til Þórisvatns en ekki er um neina miðlun á vatnasviðinu ofan við Dynk. Þar sem rennslisröðin nær ekki aftur fyrir framkvæmdir við Kvíslaveitur er ljóst að greiningin nær ekki yfir allar breytingarnar sem hafa orðið á vatnasviðinu. Einungis ein framkvæmd bættist við eftir að samfelldar rennslismælingar hófust við Dynk, myndun Þjórsárlóns árið 1997.



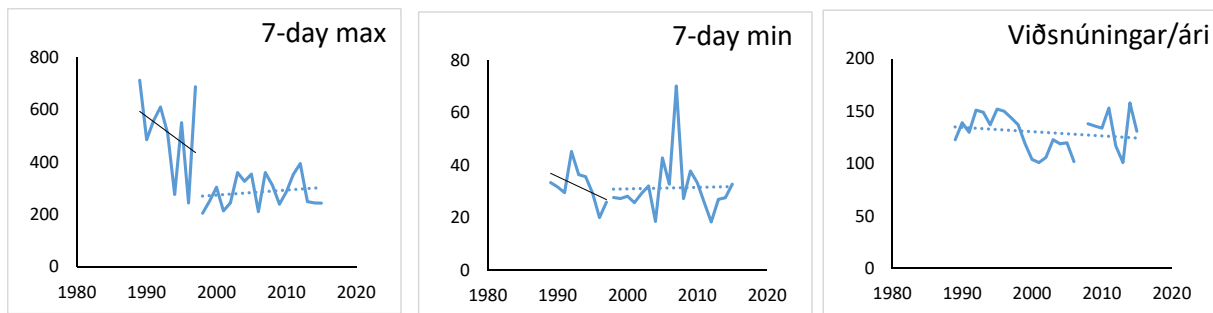
Mynd 7. Loftmynd af Þjórsá við Dynk og Sultartangalóni (mynd: Google Earth). Rauði punkturinn markar staðsetningu vatnshæðarmælisins við Dynk. *Areal photograph of Þjórsá at Dynkur. The red label shows the location of the gauging station at Dynkur.*

Mynd 6 sýnir dagsmeðalrennsli í Þjórsá við Dynk frá 1988 til 2015 og hefur rennslinu verið skipt upp í fimm flokka samkvæmt ECF flokkunarkerfinu (Tafla 3). Á fyrri hluta tímabilsins, frá 1988 til 1997, eru tveir stórir og sjö litlir flóðatoppar. Á seinni hluta tímabilsins (1998 til 2015) er enginn stór flóðatoppur en sex litlir. Á seinni hluta tímabilsins er einnig meira um að rennsli verði óvenju lítið (extreme low flow). Árstíðasveiflan heldur sér en er dempaðri eftir árið 1997, þar sem rennslistoppar á vorin og sumrin eru minni eftir árið 1997.



Mynd 8. Miðgildi mánaðarrennslis í Þjórsá við Dynk (m^3/s) frá 1988 til 2015. *Median monthly discharge in Þjórsá at Dynkur 1988–2015.*

Mynd 8 sýnir miðgildi mánaðarrennslis frá 1988 til 2015 (Tafla 4). Línuleg aðfallsgreining sýnir að mánaðarrennslis hefur lækkað við Dynk alla mánuði ársins nema febrúar, mars og apríl en meðalrennslis þeirra mánaða hefur breyst lítið eða ekkert. Mest er rennislækkunin í júní og júlí og fylgnin (R^2) er einnig hæst í þessum mánuðum. Rennislækkunina yfir tímabilið má hugsanlega tengja að einhverju leyti við loftslagsbreytingar en myndun Þjórsárlóns árið 1997 hefur haft áhrif á rennslis neðan þess, sérstaklega snemmsumars þegar hlánun snævar á hálendinu hefst. Frá lónunum á Kvíslarveitusvæðinu fellur vatn svo yfir á vatnasvið Þórisvatns og Tungnaár–Köldukvíslar. Árlegt hárennslis (Tafla 4; Mynd 9) var herra og sveiflukenndara fyrir myndun Þjórsárlóns en eftir, þar sem hárennslis á sumrin dempast vegna viðstöðutíma í Þjórsárlóni eins og sjá má á Mynd 9 (7-day max). Árlegt lágrennslis breyttist ekki á tímabilinu þar sem lágrennslis er vetrarrennslis (grunnrennslis) þegar jökulbráð er ekki til staðar og engin vatnssöfnun í Þjórsárlóni. Fjöldi viðsnúninga (Mynd 9) í rennslis (reversals) er sá fjöldi skipta sem rennslis hækkar eða lækkar úr einum rennslisflokki í annan (t.d. úr meðal-lágrennslis yfir í hárennslisþúls, eða öfugt) og getur haft áhrif á það lífríki sem hefur aðlagast í hverju straumvatni. Fjöldi viðsnúninga segir mikið til um eðli straumvatna og breytingar á þeim geta gefið vísbendingar um loftslagsbreytingar og enn fremur um áhrif nýtingar á straumvatnið. Fjöldi viðsnúninga í rennslis hefur ekki breyst að ráði yfir tímabilið 1988 til 2015 í Þjórsá við Dynk.

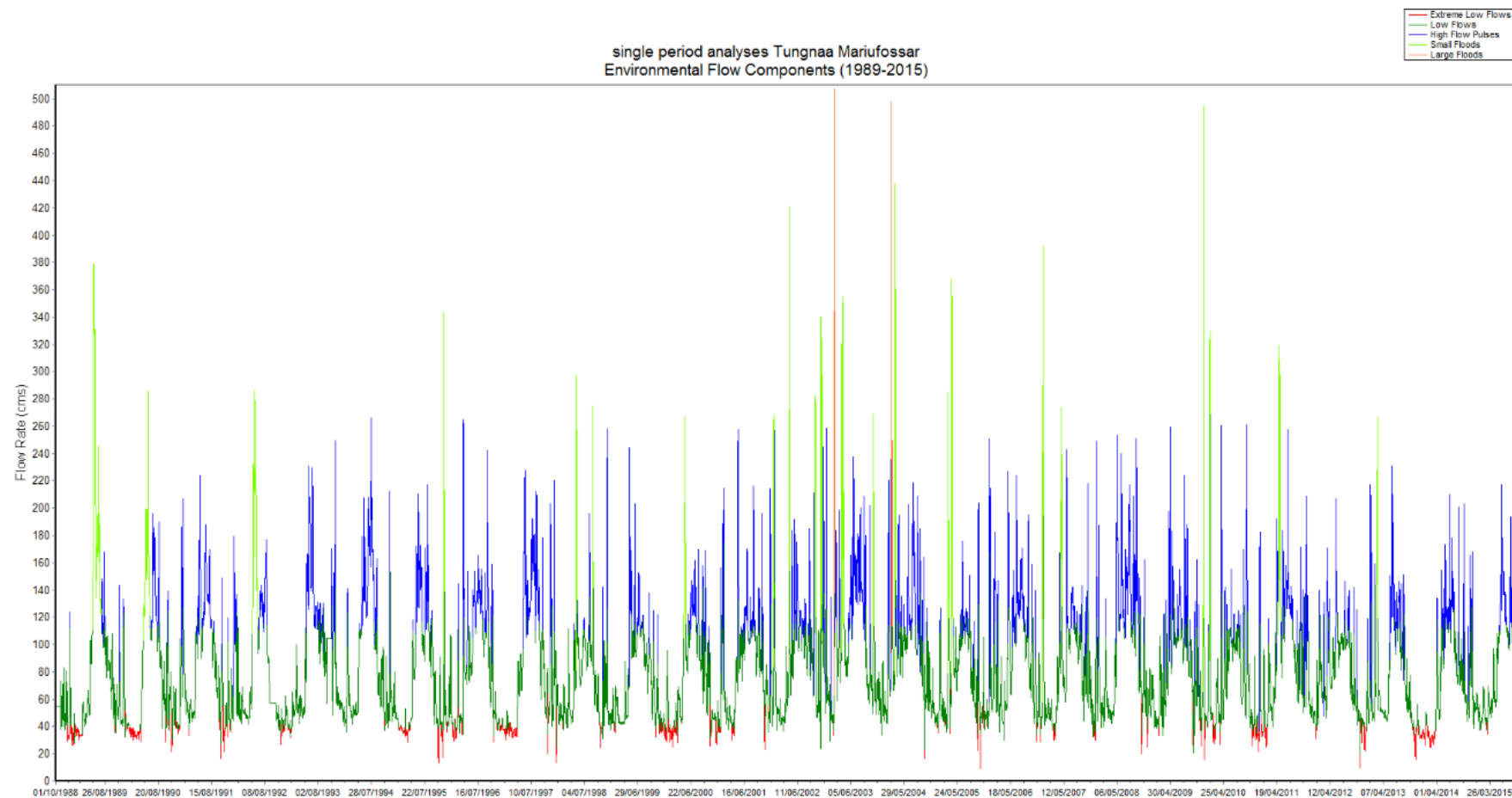


Mynd 9. Sjö daga há- og lágrengslis í Þjórsá við Dynk frá 1989 til 2015 (m³/s). Einnig fjöldi rennslis viðsnúninga á ári, þar sem rennslis ýmist eykst eða minnkar. Árið 1997 var hluti Efri Þjórsár fluttur til vatnasviðs Köldukvíslar og Tungnaár með viðstöðu í Þjórsárlóni. *Seven day max and -min as well as number of discharge reversals per year in Þjórsá at Dynkur 1989–2015.*

Tafla 5. Miðgildi mánaðarrennslis (m³/s) í Þjórsá við Dynk frá 1989 til 2015. *Median monthly discharge in Þjórsá at Dynkur 1988–2015.*

Ár	Október	Nóvember	Desember	Janúar	Febrúar	Mars	Apríl	Maí	Júní	Júlí	Ágúst	September
1989	71	59	53	45	44	37	38	55	330	326	176	123
1990	82	48	45	46	41	37	35	243	207	231	228	128
1991	72	55	41	37	64	43	41	197	203	313	273	127
1992	73	50	54	109	69	57	49	93	298	188	168	86
1993	58	41	41	57	57	43	39	87	276	199	195	151
1994	83	92	52	47	47	41	39	123	153	240	177	94
1995	72	42	41	35	32	30	33	97	296	197	284	145
1996	28	58	55	41	37	42	69	156	166	192	180	197
1997	91	45	33	30	31	28	42	62	151	199	184	108
1998	62	52	46	37	37	39	41	141	100	146	174	90
1999	54	47	37	33	34	29	32	118	120	213	185	119
2000	73	95	68	44	30	34	45	146	127	188	174	105
2001	45	38	31	29	29	28	37	93	70	141	142	110
2002	71	35	46	122	36	30	38	133	142	174	175	129
2003	59	40	38	37	43	50	132	109	156	242	279	158
2004	62	48	44	39	41	60	66	116	158	225	217	118
2005	60	52	46	44	49	44	62	83	158	227	284	82
2006	60	44	34	43	59	44	35	98	147	190	195	148
2007	83	87	93	98	103	108	114	107	124	165	139	109
2008	80	52	31	56	49	40	37	193	145	227	166	173
2009	66	57	50	44	51	43	41	151	134	189	153	102
2010	70	52	41	43	38	39	37	121	195	236	242	149
2011	78	38	37	34	32	36	42	148	135	168	183	91
2012	66	19	19	35	46	42	71	90	181	206	235	80
2013	38	30	30	36	39	36	32	95	123	148	147	75
2014	56	38	36	32	29	29	41	124	143	210	143	122
2015	58	53	39	37	38	36	40	47	191	145	126	118

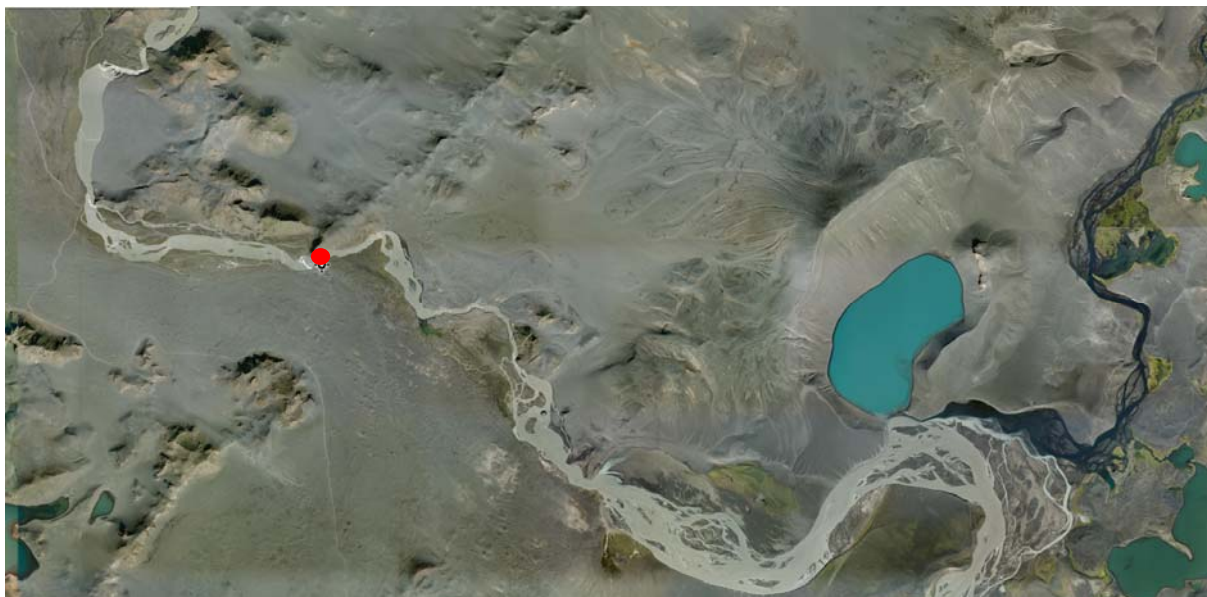
Frekari tölulegar upplýsingar um rennslis í Þjórsá við Dynk (IHA breytur, Tafla 4) er að finna í Viðauka 1.



Mynd 10. Dagsmeðalrennsli í Tungnaá við Maríufossa frá 1988 til 2015 (m^3/s). Tölfræðileg greining á rennslisgögnunum er notuð til að skipta rennslinu upp í fimm flokka sem lýsa rennsisháttum á mælistaðnum (Tafla 3). Rautt: óvenjulágt rennsli. Dökkgrænt: meðal-lágrennsli. Blátt: hárennslispúlsar. Skærgrænt: lítil flóð. Appelsínugult: stór flóð.
Average daily discharge in Tungnaá at Maríufossar. Statistical analyses on the discharge data is used to divide the discharge into five categories, extreme low flows, low flows, high flow pulses, small floods and large floods.

4.1.2 Tungnaá við Maríufossa (vatnshlot 103-878-R, Tungnaá 4)

Samfelldar rennslisraðir eru til úr Tungnaá úr vatnshæðarmæli við Maríufossa, ofan við lón og virkjanir (hnit 64,099630°N -19,053752°V, Mynd 11), frá 1988 til dagsins í dag. Rennsli Tungnaár hefur ekki verið breytt vegna virkjanaframkvæmda á þessum stað og því lýsa gröfin á Mynd 10, Mynd 12 og Mynd 13 náttúrulegu rennsli.



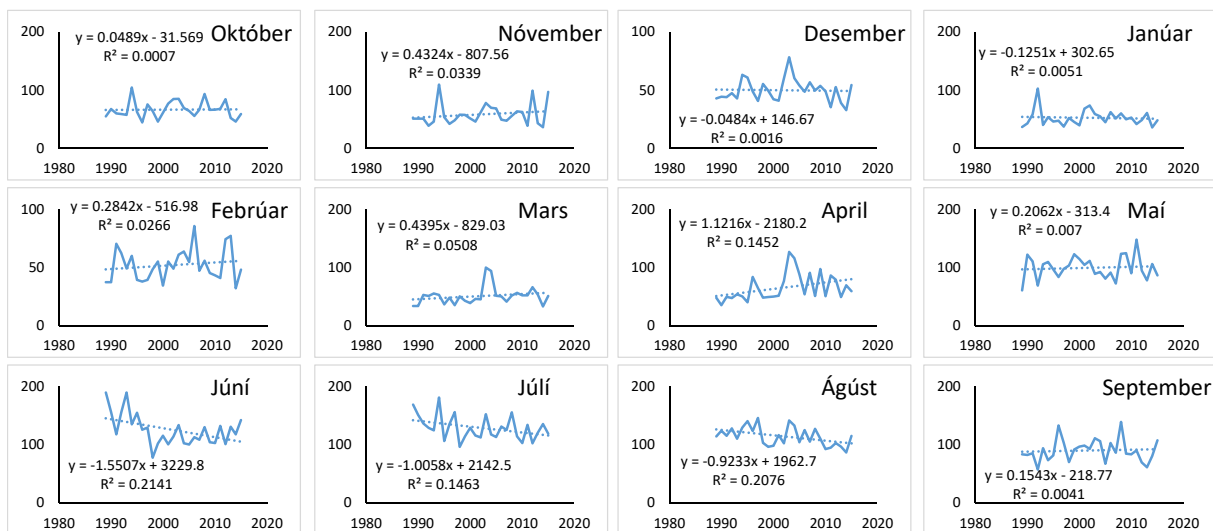
Mynd 11. Loftmynd af Tungnaá og Skyggnisvatni (mynd frá ja.is). Rauði punkturinn markar staðsetningu vatnshæðamælisins við Maríufossa. *Areal photograph of Tungnaá at Maríufossar. The red label shows the location of the gauging station.*

Mynd 10 sýnir dagsmeðalrennsli í Tungnaá við Maríufossa skv. EFC flokkunarkerfinu (Tafla 3). Myndin sýnir áberandi árstíðasveiflu sem er dæmigert fyrir jökulár, en fremur hátt grunnrennsli sem einkennir ár með lindarvatnseiginleika. Nýlega hefur verið sýnt fram á að grunnvatnspáttur Tungnaár við Maríufossa sé allt að 53% (Snævarr Örn Georgsson, 2016). Lítil flóð eru algeng skv. flokkuninni en stór flóð fátíð. Þó voru tvö stór flóð í febrúar 2003 og mars 2004 og á þeim tíma voru nokkuð mörg minni flóð. Þá kom einnig tímabil, 2001–2008, þar sem rennsli fór sjaldan eða aldrei niður í mjög lágt rennsli (extreme low flow, rautt á Mynd 10), sem annars voru aðstæður sem sköpuðust nokkuð reglulega yfir tímabilið. Rennsli jökuláa er mjög háð loftslagi og svarar hratt bæði kólnun og hlýnun lofthita (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2015). Lofthiti á Íslandi hefur hækkað frá því á fyrri hluta níunda áratugs síðustu aldar þar til nýlega (Veðurstofa Íslands 2016b; 2016c). Meðalárshiti í Reykjavík hefur aukist jafnt og þétt síðan um 1995 og er aukningin um 1,5°C, að meðaltali úr ~4°C í ~5,5 °C (Veðurstofa Íslands, 2016b). Hröðust var hlýnunin á árunum 1998 til 2003. Hlýnun loftslags á undanförunum árum hefur haft áhrif á rennsli þjórsár, eins og annarra jökuláa á Íslandi.

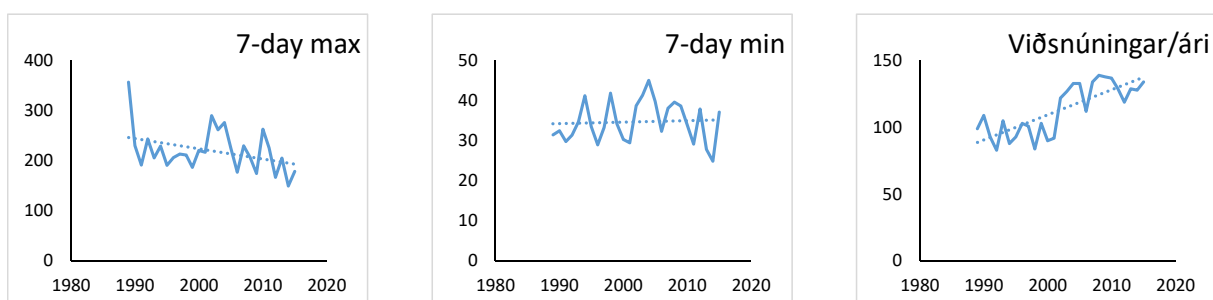
Miðgildi mánaðarrennslis er óbreytt frá 1988 til 2015 (Mynd 12) flesta mánuði ársins nema lítilsháttar aukning er í apríl og minnkun í júní til ágúst. Þetta getur skýrst af loftslagsbreytingum en hlýnun loftslags veldur því að snjóaleysingar hafa hafist fyrr en áður, umhleyppingar eru meiri

og minni snjór hefur safnast á hálendið. Það minnkar aftur snjóbráð og þar með afrennsli á vorin. Aukinn sumarhiti veldur hins vegar aukinni bráðnun jökla og auknu sumarrennsli.

Árlegt hárennsli í Tungnaá við Maríufossa hefur lækkað lítillega en lágrennslið hefur ekki breyst (Mynd 13). Hins vegar hafa viðsnúningar í rennsli breyst í Tungnaá við Maríufossa. Breytingin varð á árinu 2003 þegar rennslisviðsnúningum, úr einum rennslisflokki í annan (Tafla 3), fjölgaði úr 80–110 skiptum á ári í 110–140 skipti á ári. Það liggur ekki ljóst fyrir hvernig stendur á þeirri breytingu á þessum mælistað. Lágrennsli (7-day min, Mynd 13) varð lægst vatnsárið 2013–2014 þegar rennsli Tungnaár og grunnvatnsstaða var í sögulegu lágmarki (Snævarr Örn Georgsson, 2016).



Mynd 12. Miðgildi mánaðarrennslis (m^3/s) í Tungnaá við Maríufossa frá 1988 til 2015. *Median monthly discharge in Tungnaá at Maríufossar, 1988–2015.*

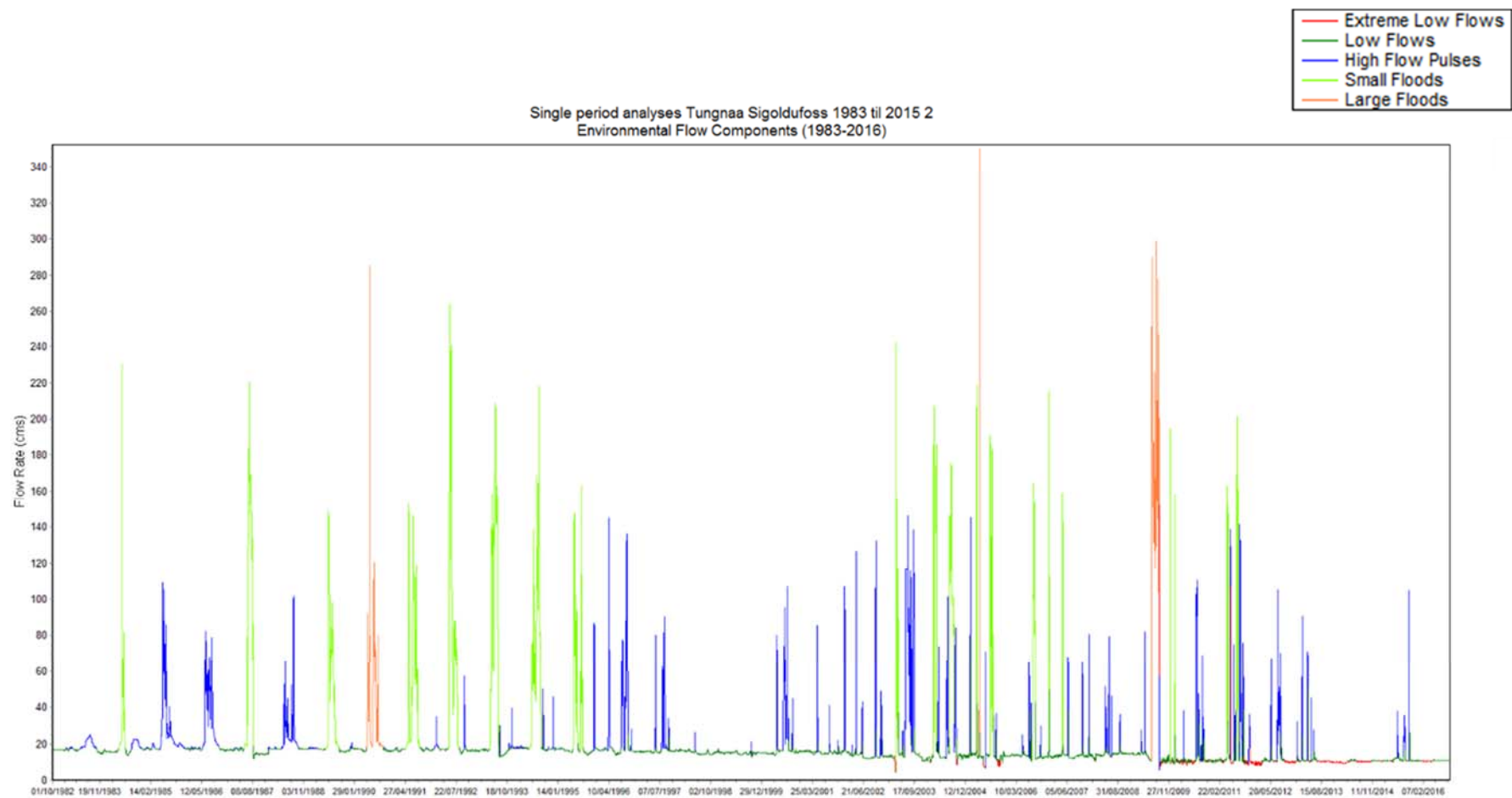


Mynd 13. Sjö daga há- og lágrennsli í Tungnaá við Maríufossa (m^3/s) frá 1989 til 2015. Einnig fjöldi rennslis viðsnúninga á ári, þar sem rennsli ýmist eykst eða minnkar. *Seven day max and -min as well as number of discharge reversals per year in Þjórsá at Dynkur 1989–2015.*

Tafla 6. Miðgildi mánaðarrennslis (m³/s) í Tungnaá við Maríufossa frá 1989 til 2015. *Median monthly discharge in Tungnaá at Maríufossar, 1988–2015.*

Ár	Október	Nóvember	Desember	Janúar	Febrúar	Mars	April	Maí	Júní	Júlí	Ágúst	September
1989	55	51	43	37	37	34	48	61	189	169	114	84
1990	67	51	44	43	37	34	35	122	156	151	124	82
1991	60	51	44	58	70	53	50	110	118	137	115	85
1992	59	39	47	103	62	51	47	69	156	129	128	57
1993	57	46	43	40	49	55	54	105	189	125	110	94
1994	104	109	63	53	60	53	50	109	135	181	129	73
1995	62	53	61	46	39	37	40	96	155	106	140	82
1996	44	42	49	47	38	48	84	84	126	136	124	133
1997	75	48	41	37	39	35	64	98	129	156	146	103
1998	64	58	55	52	48	50	48	103	78	96	103	70
1999	46	57	50	45	55	43	49	123	102	114	96	92
2000	61	51	42	39	34	39	50	114	115	129	98	97
2001	77	46	41	68	55	46	51	104	101	116	116	98
2002	85	62	60	73	49	45	76	111	114	113	102	93
2003	85	78	78	59	61	99	127	89	134	152	142	111
2004	69	70	60	55	64	94	116	92	102	118	133	106
2005	64	69	54	45	55	51	88	81	100	113	104	67
2006	56	49	49	62	85	50	54	91	113	131	125	103
2007	66	47	57	51	47	41	91	72	109	126	106	86
2008	93	56	50	60	56	52	51	123	130	156	127	139
2009	66	64	54	50	45	56	97	124	104	114	110	85
2010	66	62	49	53	43	52	50	90	103	103	93	84
2011	68	39	35	42	41	52	86	148	132	134	95	90
2012	84	99	53	49	74	66	79	95	101	103	103	69
2013	52	43	39	60	77	54	49	78	131	120	97	61
2014	46	36	33	36	32	33	69	106	118	136	87	81
2015	59	97	54	48	48	51	59	86	142	119	115	108

Frekari tölulegar upplýsingar um rennslí Tungnaár við Maríufossa (IHA breytur, Tafla 4) er að finna í Viðauka 2.



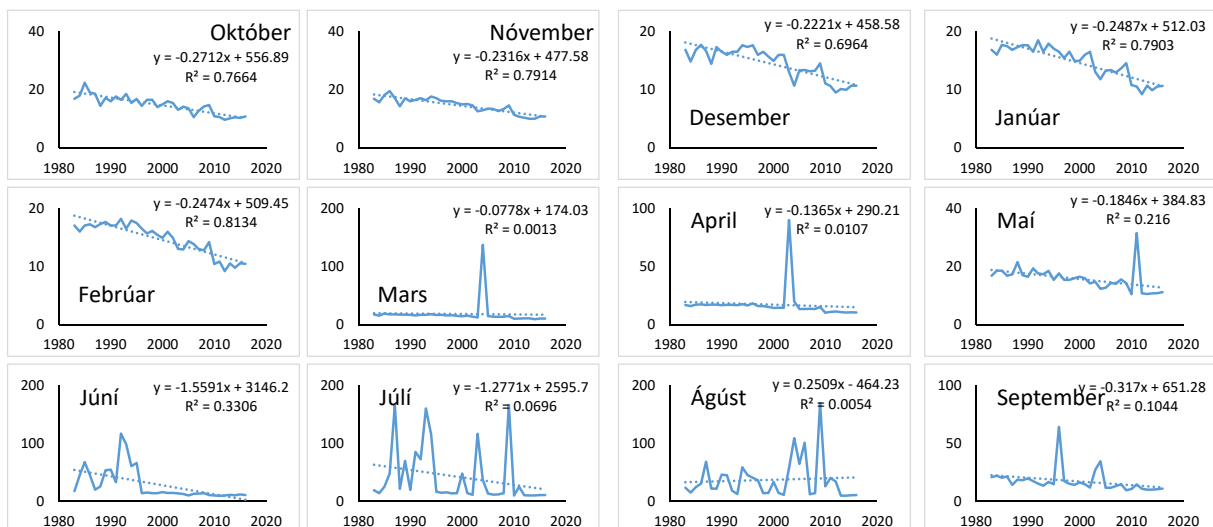
Mynd 14. Dagsmeðalrennsli í Tungnaá við Sigöldufoss frá 1983 til 2015 (m^3/s). Tölfræðileg greining á rennslisgögnunum er notuð til að skipta rennslinu upp í fimm flokka sem lýsa rennsisháttum á mælistaðnum (Tafla 3). Rautt: óvenjulágt rennsli. Dökkgrænt: meðal-lágrennsli. Blátt: hárennslispúlsar. Skærgrænt: lítil flóð. Appelsínugult: stór flóð.
Average daily discharge in Tungnaá at Sigöldufoss. Statistical analyses on the discharge data is used to divide the discharge into five categories, extreme low flows, low flows, high flow pulses, small floods and large floods.

4.1.3 Tungnaá við Sigöldufoss (vatnshlot 103-973-R, Tungnaá 3)

Samfelldar rennslisraðir eru til úr Tungnaá úr vatnshæðarmæli við Sigöldufoss, sem er á milli Krókslóns og Hrauneyjalóns (hnit 64,167134°N, -19,129954°V, Mynd 15), frá 1983 til dagsins í dag. Farvegurinn tekur við vatni sem hleypt er úr Krókslóni um lokur ásamt lekavatni, en þaðan rennur vatnið í Hrauneyjalón. Þar sem vatnsmagni í farveginum er stjórnað er rennsli mjög mismunandi yfir árið, eftir vatnsstöðu á svæðinu. Mælingar eru ekki til á þessum mælistað frá því fyrir myndun Krókslóns en gera má ráð fyrir að rennsli Tungnaár við Mariúfossa endurspegli það rennsli sem væri við Sigöldufoss fyrir stíflugerð.



Mynd 15. Farvegur Tungnaár á milli Krókslóns og Tungnaár (mynd frá ja.is). Staðsetning vatnshæðamælisins við Sigöldufoss er markaður með rauðum punkti. *Aerial photograph of Tungnaá at Sigöldufoss. The red label shows the location of the gauging station at Sigöldufoss.*



Mynd 16. Miðgildi mánaðarrennslis (m^3/s) í Tungnaá við Sigöldufoss frá 1983 til 2015. *Median monthly discharge in Tungnaá at Sigöldufoss, 1983–2015.*

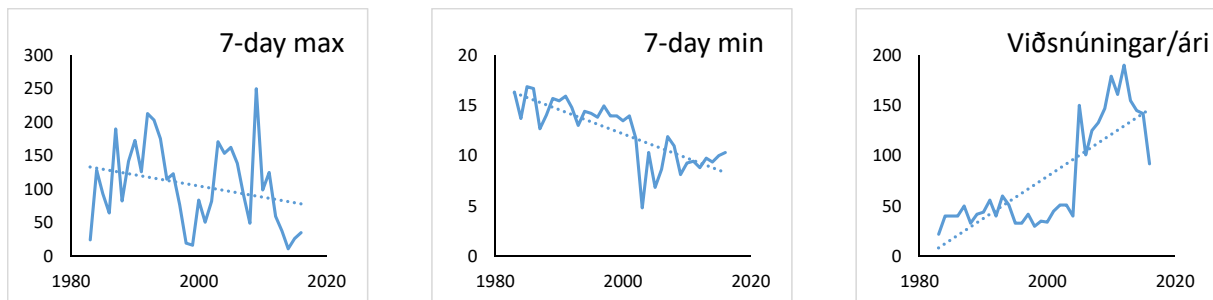
Farvegur Tungnaár við Sigöldufoss er brattur, með fossum og flúðum. Í farveginum skiptist á grunnrennsli, 10 til 18 m³/s, og rennslistoppar 100 til 350 m³/s á sumrin (frá júní til ágúst/sept). Á tímabilinu 1998 til 2000 og eftir árið 2013 var mestmegnis um grunnrennsli að ræða og mjög fáir yfirfallstoppar í farvegi Tungnaár við Sigöldu (Mynd 14).

Miðgildi rennslis hvers mánaðar hefur lækkað yfir tímabilið utan mars og apríl árið 2004 en þá var óvenju mikið vatn í farveginum við Sigöldu (Mynd 16). Árið 1998 var Hágöngulón tekið í gagnið en það safnar vatni úr Köldukvísl sem áður streymdi í gegn um Þórisvatn inn í Krókslón. Það jók miðlunargetu á vatnasviðinu um 320 Gl og breytti rennslismynstri í farvegi Tungnaár við Sigöldufoss á þann veg að rennslistoppar urðu fátíðari en áður, og yfirfallstímabil eru nú seinna á árinu en áður (Mynd 15). Fjöldi viðsnúninga í rennsli jókst mikið eftir árið 2004, úr 20 til 40 á ári í 100 til 190 á ári eftir 2004 (Mynd 17), sem er afleiðing af breytingum á vatnastjórnun á svæðinu. Í september 2009 minnkaði grunnrennsli snarlega í farveginum úr um 18 m³/s í um 12 m³/s og hefur haldist þannig síðan þá. Það má rekja til viðgerða á Sigöldustíflu sem fór fram frá júlí til september 2009 og miðaði að því að minnka leka í gegn um stífluna. Vegna viðgerðanna var vatni hleypt úr Krókslóni í júní–júlí 2009. Vatnshæðin var um 13 m lægri en venjulega frá 7. júlí til 4. september 2009 þegar farið var að hleypa á lónið. Lægst var vatnsstaðan um 20 m lægri en venjulega þann 28. júlí 2009 (Landsvirkjun, 2017a).

Lækkun á lágrennsli í Tungnaá við Sigöldufoss má sjá á Mynd 17 sem sýnir sjö daga lágrennsli í farveginum. Sérstaklega mikil lækkun varð árið 2003, en tímabilið eftir það sýnir lægra lágrennsli en áður. Sjö daga hárennsli hefur ekki breytst svo neinu nemi. Samanburður á rennsli Tungnaár við Sigöldufoss 1983–2003 og 2004–2015 sýnir að rennsli hefur lækkað í farveginum eftir 2004 alla mánuði ársins um 30% nema í ágúst þar sem rennsli hefur aukist um 48%.

Mynd 15 er loftmynd af farvegi Tungnaár við Sigöldufoss (já.is, maí 2016) sem sýnir mikinn litamun á vatninu í farveginum og í lónunum sitt hvorumegin við hann þegar myndin var tekin. Það skýrist af því að stór hluti af vatninu í farveginum er lekavatn úr Krókslóni. Gruggið úr vatninu síast úr við gegnumstreymi um stífluna, sem er grjótstífla (Hugrún Gunnarsdóttir, 2016), og því er lekavatnið tærara en lónavatnið.

Rennslismælirinn í Tungnaá við Sigöldufoss er neðar á vatnasviðinu en mælirinn við Maríufossa (kafli 4.1.2), þar sem rennsli er ótruflað. Mælirinn við Maríufossa (Mynd 10) gefur hugmynd að því hvernig rennslið væri við Sigöldufoss (Mynd 14) ef það væri ótruflað. Samanburður á Mynd 10 og Mynd 14 sýnir hve mikil breyting er á rennsli í farvegi Tungnaár við Sigöldufoss vegna Sigölduvirkjunar. Samanburður á þessum tveimur mælistöðvum sýnir að rennsli við Sigöldu var að lágmarki 10% og að hámarki 100% af rennsli Tungnaár við Maríufossa til ársins 2003. Þó voru hærri rennslistoppar árið 1993 og 1997 hugsanlega í tengslum við viðhald á Sigöldustíflu. Eftir árið 2003 til 2013 var lágrennsli við Sigöldu lægra en áður og oftast aðeins 3 til 5% af rennsli Tungnaár við Maríufossa. Á sama tíma voru hárennslistopparnir við Sigöldu allt að tvöfalt rennsli Tungnaár við Maríufossa. Eftir 2013 til júní 2016 hefur lágrennslið verið svipað og frá 2003, 3–5% af rennsli Tungnaár við Maríufossa, en varla er hægt að tala um hárennslistoppa á því tímabili. Þá varð rennsli mest um 30% af náttúrulegu rennsli Tungnaár við Maríufossa.

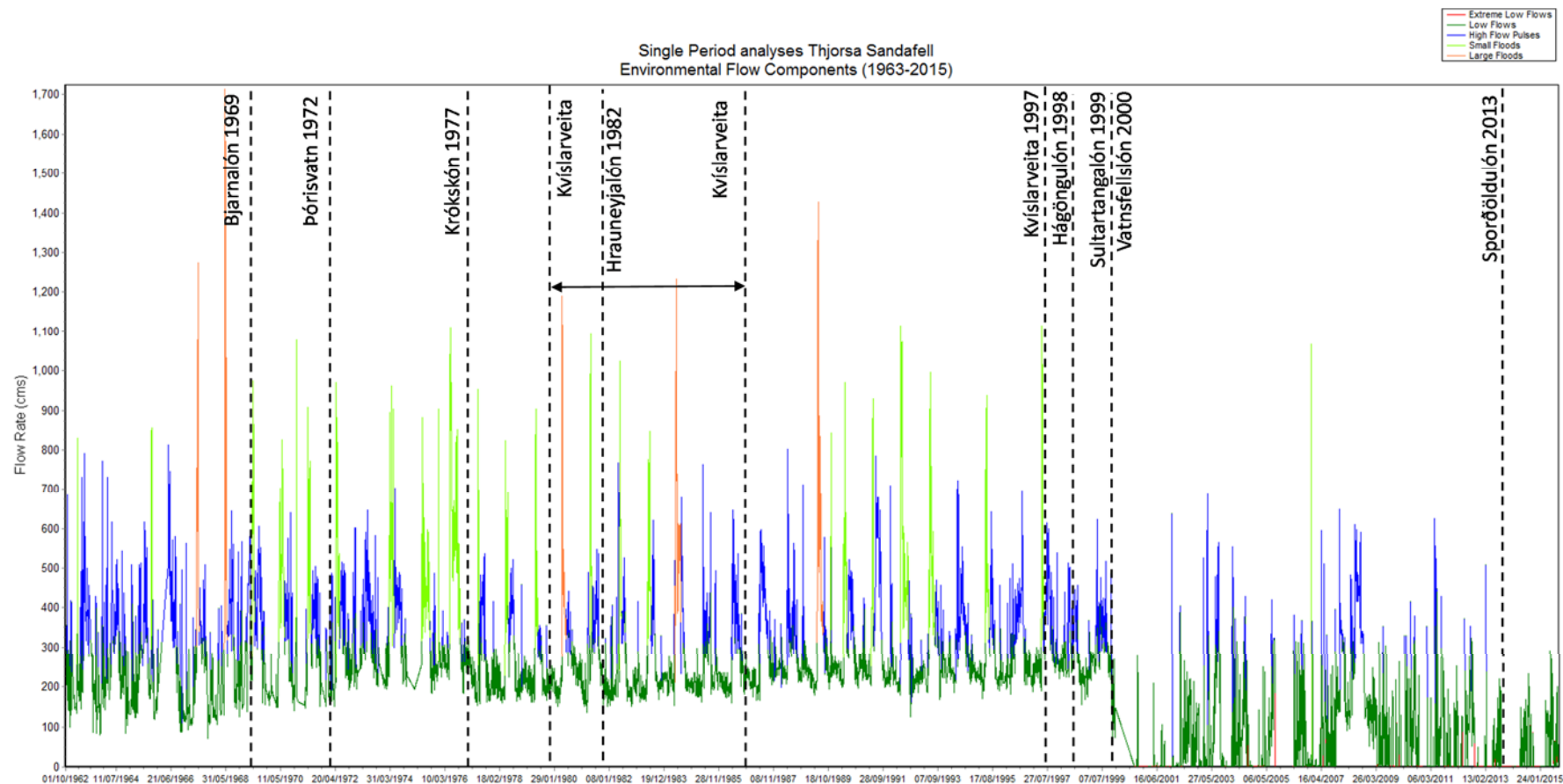


Mynd 17. Sjö daga há- og lágrengisli í Tungnaá við Sigöldufoss (m^3/s). Einnig fjöldi rennslis viðsnúninga á ári, þar sem rennslis ýmist eykst eða minnkar. *Seven day max and -min as well as number of discharge reversals per year in Tungnaá við Sigöldufoss 1983–2015.*

Tafla 7. Miðgildi mánaðarrennslis í Tungnaá við Sigöldufoss (m^3/s) frá 1983 til 2015. *Median monthly discharge in Tungnaá at Sigöldufoss, 1983–2015.*

Ár	Október	Nóvember	Desember	Janúar	Febrúar	Mars	Apríl	Maí	Júní	Júlí	Ágúst	September
1983	17	17	17	17	17	18	17	17	18	19	24	21
1984	18	16	15	16	16	15	16	19	45	14	16	22
1985	22	18	17	18	17	19	17	19	68	25	25	20
1986	19	19	18	18	17	18	18	17	46	48	31	22
1987	19	17	17	17	17	18	17	17	20	166	69	14
1988	14	14	14	17	17	17	17	22	26	22	22	19
1989	17	17	17	18	18	17	17	17	54	70	22	18
1990	16	16	17	18	17	17	17	17	55	20	46	20
1991	18	17	16	17	17	16	17	19	33	85	45	18
1992	17	17	17	18	18	17	17	18	117	73	19	15
1993	18	16	17	17	17	17	17	17	99	160	13	14
1994	15	18	18	18	18	18	18	18	61	116	59	17
1995	17	17	17	17	17	17	17	15	67	17	46	15
1996	14	16	18	17	17	17	18	18	14	15	41	64
1997	17	16	16	15	16	16	16	15	15	16	37	18
1998	17	16	17	17	16	16	16	15	14	14	14	15
1999	14	15	16	15	15	15	15	16	14	14	15	14
2000	15	15	15	15	15	14	14	17	16	48	34	17
2001	16	15	16	16	16	15	15	16	15	14	15	15
2002	15	15	16	17	15	14	15	14	15	12	12	12
2003	13	13	13	13	13	12	90	15	14	117	57	27
2004	14	13	11	12	13	137	20	12	13	37	109	35
2005	14	13	13	13	14	15	14	13	11	14	65	12
2006	11	13	13	13	14	14	13	14	14	12	101	12
2007	13	13	13	13	13	13	14	14	14	12	13	13
2008	14	13	13	14	13	14	14	16	15	14	15	15
2009	15	15	15	15	14	15	15	14	11	166	170	10
2010	11	11	11	11	10	10	10	10	10	10	26	11
2011	11	11	11	11	11	11	11	32	10	26	41	15
2012	10	10	10	9	9	11	11	11	11	11	35	11
2013	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	10	10
2014	10	10	10	10	10	9	10	11	11	10	10	10
2015	10	11	11	11	11	11	11	11	12	11	11	11

Frekari tölulegar upplýsingar um rennslis Tungnaár við Sigöldufoss (IHA breytur, Tafla 4) er að finna í Viðauka 3.



Mynd 18. Dagsmeðalrennsli í Þjórsá við Sandafell frá 1963 til 2015 (m^3/s). Tölfræðileg greining á rennislisgögnunum er notuð til að skipta rennslinu upp í fimm flokka sem lýsa rennsisháttum á mælistaðnum (Tafla 3). Brotnu línurnar sýna tímasetningar þegar ný lón hafa verið tekin í gagnið. Rautt: óvenjulágt rennsli. Dökkgrænt: meðal-lágrennsli. Blátt: hárennslispúlsar. Skærgrænt: lítil flóð. Appelsínugult: stór flóð. Average daily discharge in Þjórsá at Sandafell 1963–2015. Statistical analyses on the discharge data is used to divide the discharge into five categories, extreme low flows, low flows, high flow pulses, small floods and large floods.

4.1.4 Þjórsá við Sandafell (vatnshlot 103-777-R)

Samfelldar rennslisraðir eru til úr Þjórsá við Sandafell neðan Sultartangavirkjunar (hnit 64,168199°N, -19,591151°V, Mynd 19) frá 1963 til dagsins í dag. Á þessum stað hafa Efri Þjórsá og Tungnaá sameinast og því er vatnsmagn árinna mun meira en í efri farvegnum. Áður en Þjórsá og Tungnaá sameinast hefur Efri Þjórsá farið um Sultartangalón og Tungnaá sameinast Köldukvísl og vatni úr Þórisvatni, fara í gegn um Krókslón, Hrauneyjalón, Sporðöldulón og að lokum Sultartangalón. Sameining Þjórsár og Tungnaár er því í Sultartangalóni. Í verkáætlun Landsvirkjunar hvað varðar umhverfisbreytingar af völdum Sporðöldulóns var gert ráð fyrir um 2 m³/s lágrennsli sem nemur því gunnvatnsrennsli sem streymir um farveginn neðan Hrauneyjalóns (Mannvit, 2012). Það er dæmi um mótvægisáðgerð sem gerð hefur verið vegna virkjana og er til komin vegna aukinnar vitundar um miklvægi vistrennslis. Þar rennur nú lítilsháttar af tæru vatni rennur nú um gamla farveg Tungnaár neðan Hrauneyjavirkjunar sem stendur undir mikilvægum búsvæðum fyrir bleikju (Benóný Jónsson o.fl., 2016) en þar var áður jökulvatn Tungnaár sem féll frá Hrauneyjarvirkjun. Miðgildi mánaðarrennslis frá 1963 til 2015 er gefið í töflu (Tafla 8).

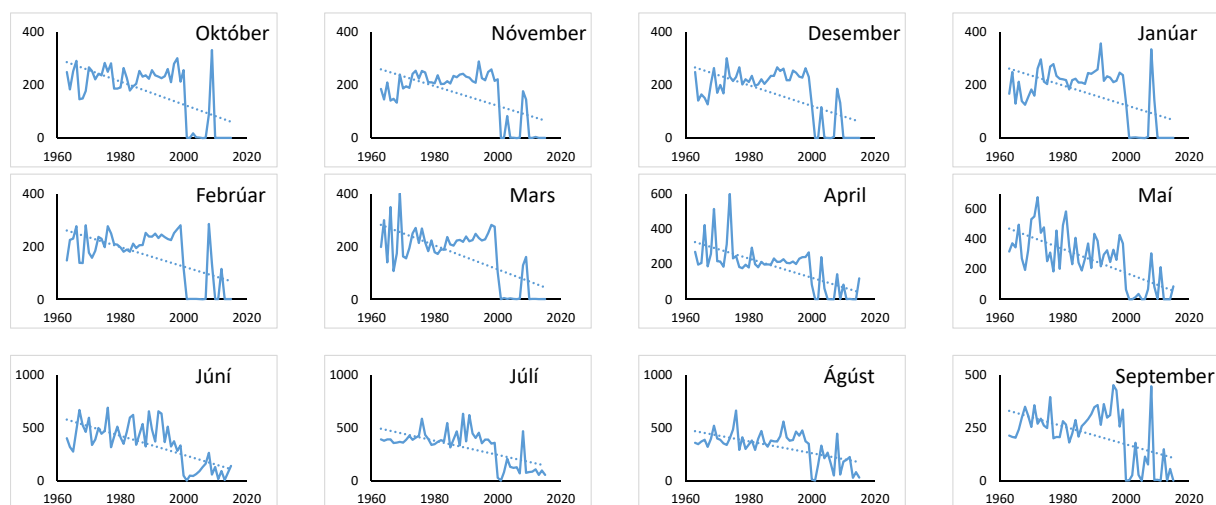


Mynd 19. Þjórsá við Sandafell (mynd frá ja.is). Staðsetning vatnshæðamælisins við Sandafell er markaður með rauðum punkti. *Areal photograph of Þjórsá at Sandafell. The red label shows the location of the gauging station at Sandafell.*

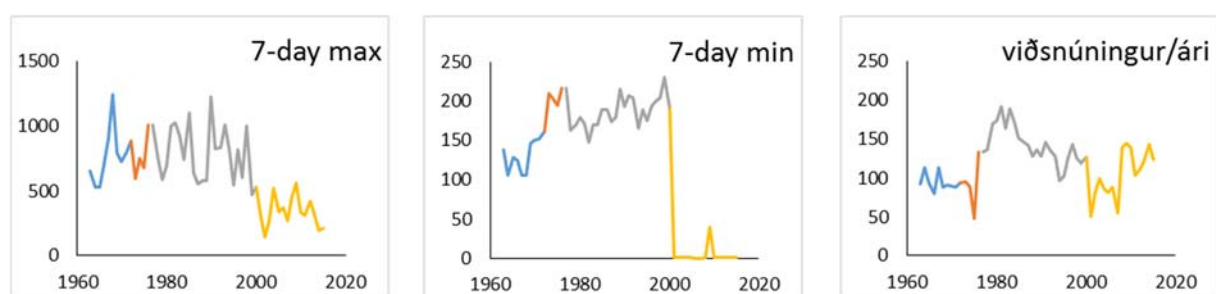
Rennslisgögn frá 1963 til 1969 sýna náttúrulegt rennsli, en raforkuvinnsla hófst í Búrfelli árið 1969 en þá var Bjarnalón myndað (Mynd 18). Þegar Þórisvatnsmiðlun var tekin í gagnið 1972 hófst miðlun vatns á svæðinu fyrir alvöru. Hækkun lágrennslis í Þjórsá við Sandafell varð þó vart strax eftir að raforkuvinnsla hófst í Búrfelli 1969 (Mynd 21) en lágrennsli lækkaði aftur eftir myndun Krókslóns 1977. Samfelld aukning var á lágrennsli frá 1977 til árisins 2000 þar til raforkuframleiðsla hófst í Sultartangavirkjun árið 2000, en eftir árið 2000 jókst tíðni tímabila með mjög lágu eða jafnvel nær engu rennsli í farveginum (Mynd 18, Mynd 20 og Mynd 21). Eftir árið 2000 er hárennsli einnig mikið breytt frá því sem áður var og er það aðeins um 40% af hárennslinu fyrir Sultartangavirkjun (Mynd 21). Eftir árið 2000 fer mestur hluti vatnsins í gegn um Sultartangavirkjun og í frárennslisskurð Sultartangavirkjunar (vatnshlot 103-673-R,

Mynd 19). Það vatn kemur ekki aftur inn í farveg Þjórsár fyrr en rétt ofan Bjarnalóns, þaðan sem mestur hluti þess fer í gegn um Búrfellsvirkjun. Farvegur Þjórsár við Sandafell eftir árið 2000 er í raun aðeins farvegur fyrir yfirfallsvatn frá Sultartangalóni og vatnsmagn í honum er því háður vatnsstöðu í Sultartangalóni á hverjum tíma.

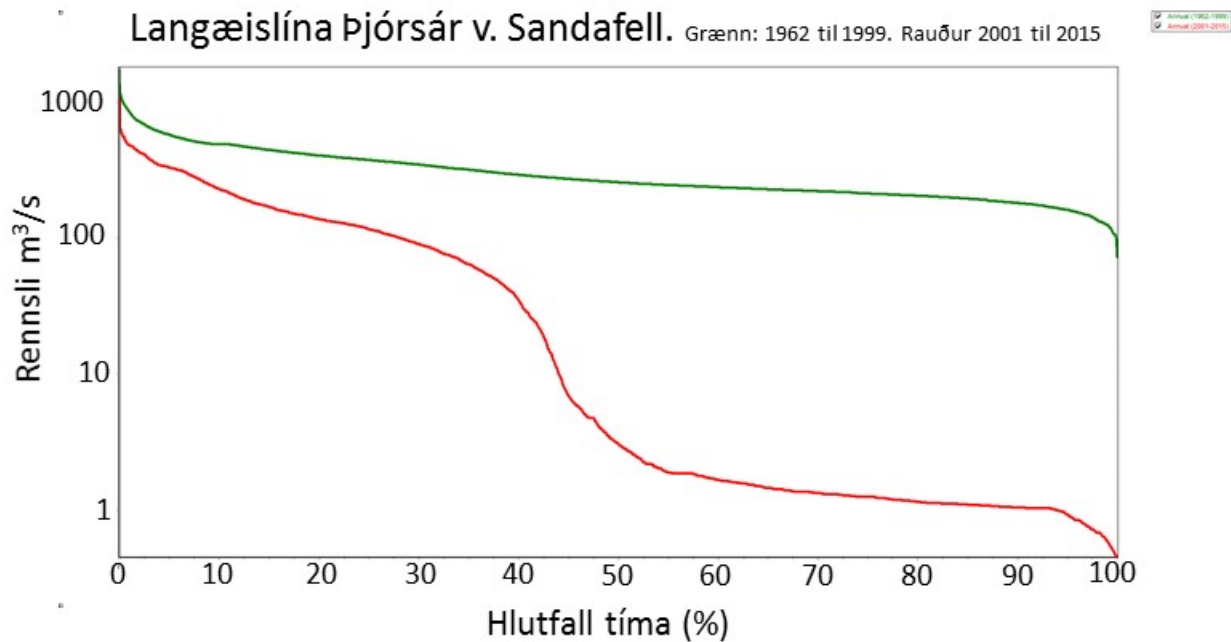
Eins og fjallað er um í kafla 3.1 er samfella í rennsli nauðsynlegt lífríki í straumvötnum. Samkvæmt gögnum úr vatnshæðamælinum við Sandafell var lágmarksrennsli 0,45 m³/s og hámarksrennsli 1067 m³/s. Rennsli Þjórsár við Sandafell 2000–2015 er undir 1,25 m³/s í um fjórðung ársins (1. fjórðungsmark), undir 3,17 m³/s í um helming ársins (2. Fjórðungsmark). Þriðja og fjórða fjórðungsmark eru 115,64 og 1067 m³/s (Mynd 22). Farvegurinn við Sandafell er breiður og flatur og því er ljóst að hann er nánast þurr um helming ársins. Hinn helming ársins er svo rennsli mun meira, og allt að 1000 m³/s. Þetta umhverfi er því mjög öfgakennt, sem hlýtur að þýða að lífríkið á ekki auðvelt uppdráttar á þessum slóðum.



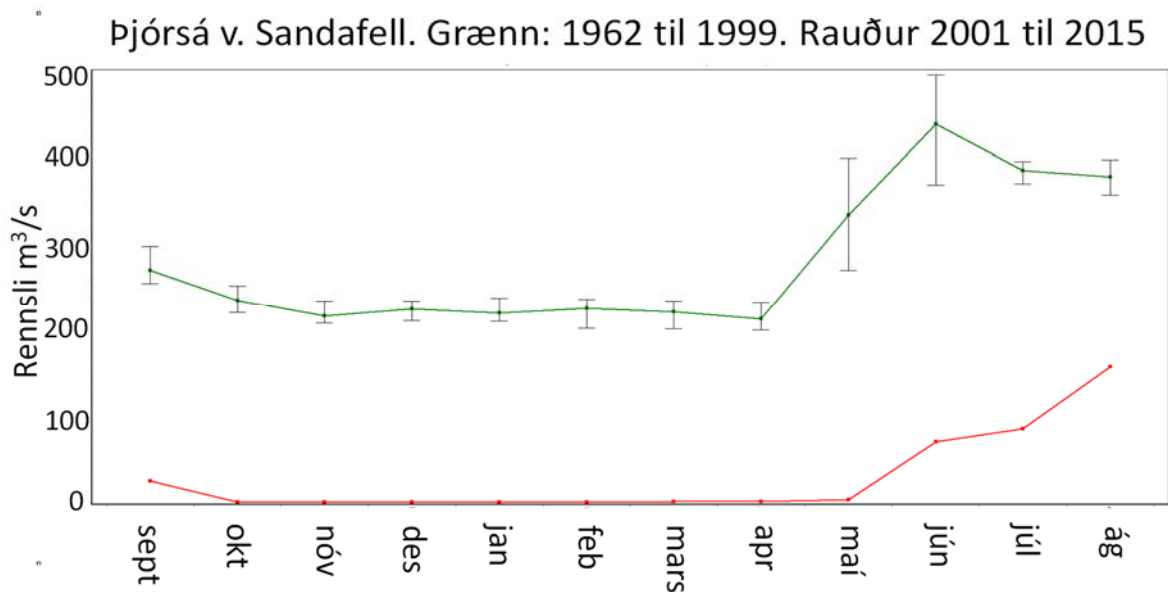
Mynd 20. Miðgildi mánaðarrennslis Þjórsár við Sandafell (m³/s) frá 1963 til 2015. *Median monthly discharge in Þjórsá at Sandafell, 1963–2015.*



Mynd 21. Sjö daga há og lágrennsli (m³/s) í Þjórsá við Sandafell. Einnig fjöldi rennslis viðsnúninga á ári, þar sem rennsli ýmist eykst eða minnkar. Blár litur á við um tímabil fyrir virkjanir á Þjórsásvæðinu, appelsínugulur frá því að raforkuframleiðsla hófst við Búrfell, grár litur frá því að miðlun hófst í Þórisvatni, gulur litur frá því að raforkuframleiðsla hófst í Sultartangavirkjun. *Annual 7-day max and 7-day min in Þjórsá at Sandafell. The colors refer to different construction periods in the catchment.*



Mynd 22. Langæislína Þjórsár við Sandafell fyrir og eftir Sultartangavirkjun. Græni ferillinn táknar tímabil frá 1962 til 1999 og sá rauði táknar tímabilið frá 2001-2015. *Flow duration curves for Þjórsá at Sandafell before (green) and after (red) power production in Sultartangavirkjun power plant.*



Mynd 23. Miðgildi rennsis hvers mánaðar á Þjórsár við Sandafell á tímabilinu 1963 til 1999 (grænn), fyrir Sultartangavirkjun, og 2001 til 2015 (rauður), eftir Sultartangavirkjun. *Monthly median discharge of Þjórsá at Sandafell before (green) and after (red) Sultartangavirkjun power plant.*

Langæislína er mælikvarði á breytileika rennsis straumvatna. Langæislínur eru teiknaðar fyrir tiltekin tímabil og með því er hægt að meta breytingar í rennsli á milli tímabila. Langæislínur sýna hlutfall þess tíma hvers vatnsárs sem tiltekið rennsli mælist. Dæmigert rennsli er það rennsli sem er helming ársins (Gunnar Orri Gröndal, 2004; Esther Hlíðar Jensen o.fl. 2013).

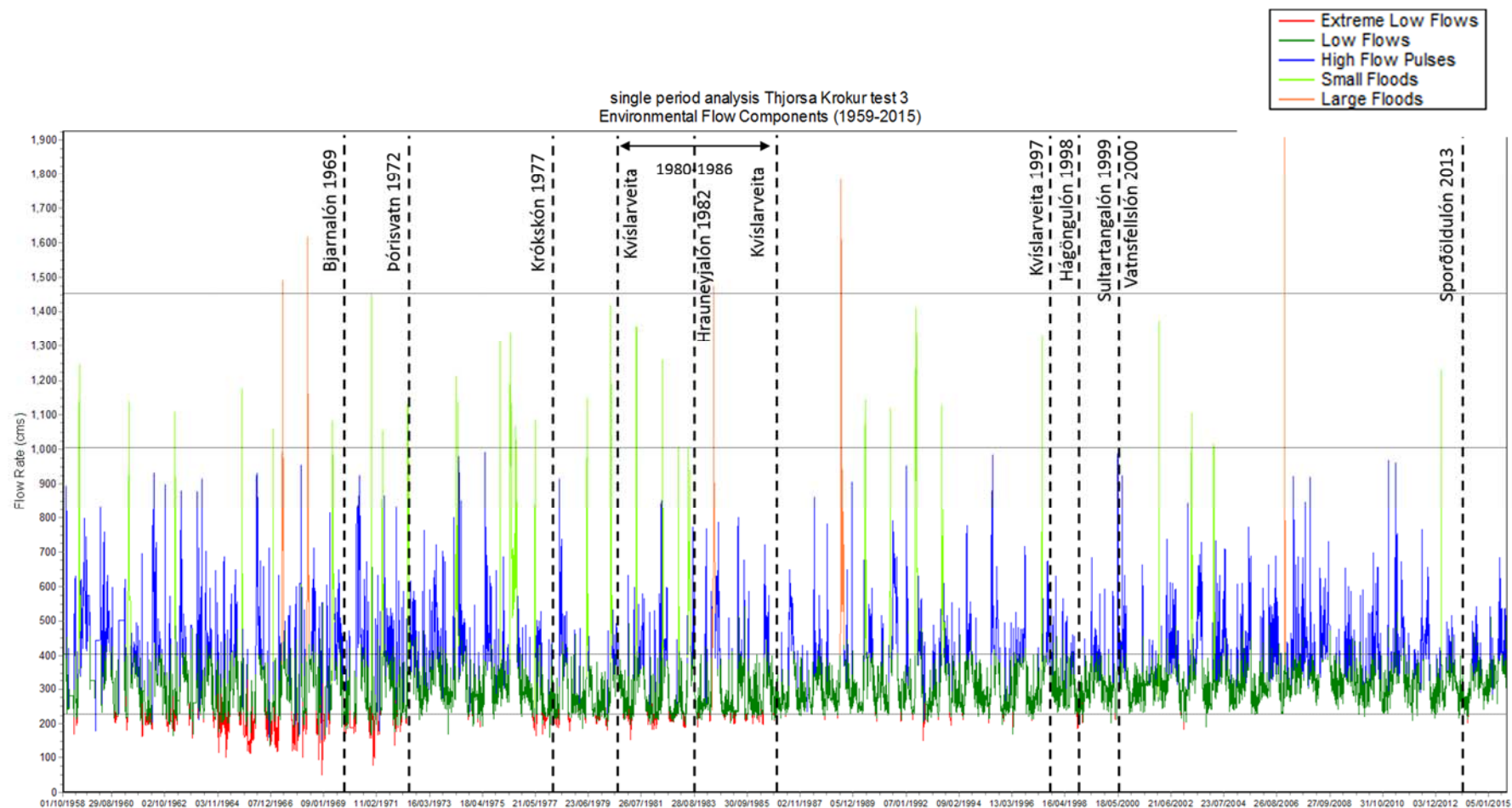
Mynd 22 sýnir langæislinu Þjórsár við Sandafell fyrir og eftir Sultartangavirkjun. Græni ferillinn sýnir rennsli á tímabilinu 1962 til 1999 en sá rauði tímabilið 2001-2015. Lóðrétti ásin er lógaritmískur þar sem munurinn á þessum tveimur tímabilum er mjög mikill.

Farvegur Þjórsár neðan Ísakots hefur, frá því að Búrfellsvirkjun er tekin í notkun 1969, verið yfirfallsfarvegur fyrir vatn úr Bjarnalóni. Gera má ráð fyrir að rennslismynstur um þann farveg sé álíka öfgakennt og við Sandafell.

Tafla 8. Miðgildi mánaðarrennslis í Þjórsá við Sandafell (m^3/s) frá 1963 til 2015. *Median monthly discharge in Þjórsá at Sandafell, 1963–2015.*

Ár	September	Október	Nóvember	Desember	Janúar	Febrúar	Mars	April	Mai	Júní	Júlí	Ágúst
1963	213	250	186	250	168	148	199	269	317	402	390	358
1964	207	185	147	143	250	225	299	197	371	318	379	345
1965	203	253	210	166	131	230	140	206	345	276	390	371
1966	242	292	143	153	213	276	349	421	494	481	390	386
1967	297	148	149	128	140	138	108	187	272	668	356	320
1968	350	150	134	206	127	138	174	258	196	524	360	396
1969	309	179	241	265	154	280	400	512	323	462	367	519
1970	254	268	188	172	184	176	163	217	530	596	360	400
1971	356	254	196	201	161	158	155	215	549	339	387	387
1972	270	223	191	170	263	184	194	186	675	389	424	353
1973	293	243	244	302	298	236	250	313	441	497	387	339
1974	261	238	255	233	214	230	270	597	476	444	407	400
1975	249	284	225	216	205	197	213	233	254	471	424	483
1976	395	252	254	231	271	277	268	246	310	689	586	663
1977	201	283	249	268	280	250	215	184	185	316	434	292
1978	207	187	212	203	236	209	183	177	455	415	397	410
1979	206	187	212	223	225	207	223	196	203	510	339	301
1980	281	192	208	213	223	196	179	182	490	409	346	343
1981	265	265	238	236	220	181	172	293	582	349	367	380
1982	181	228	205	199	185	188	190	200	349	464	384	292
1983	223	181	206	203	220	181	187	183	233	598	374	397
1984	287	196	215	223	225	210	236	213	407	622	545	469
1985	209	206	207	206	210	194	208	198	243	341	316	360
1986	258	254	236	220	210	205	203	199	192	439	390	323
1987	274	233	230	236	206	206	223	198	271	536	465	380
1988	292	238	241	236	246	252	225	232	370	324	336	374
1989	315	225	243	268	243	238	218	213	208	656	632	370
1990	348	257	233	254	252	237	238	214	434	483	374	420
1991	358	238	229	263	260	249	220	228	387	372	620	560
1992	264	233	216	219	358	232	224	207	219	656	447	409
1993	362	227	210	219	217	245	248	205	296	634	406	379
1994	298	234	290	256	234	236	232	214	325	365	454	386
1995	310	261	227	248	229	229	223	201	248	510	355	464
1996	452	212	219	233	212	224	227	231	328	325	389	426
1997	428	282	250	229	217	250	250	240	261	372	389	475
1998	256	303	260	264	248	266	282	241	426	283	351	372
1999	336	214	217	232	238	280	275	267	370	334	359	349
2000	1	257	223	126	138	120	102	84	66	48	30	11
2001	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2
2002	26	1	1	1	3	2	5	2	1	49	82	151
2003	179	18	84	118	3	2	2	239	15	45	209	332
2004	28	3	2	2	2	2	4	63	36	63	131	213
2005	0	3	2	1	1	1	2	2	1	91	123	265
2006	114	1	1	1	1	1	1	1	2	130	128	159
2007	77	1	2	4	5	2	3	1	68	161	70	50
2008	446	91	178	187	336	285	129	143	304	263	468	445
2009	4	333	147	134	145	135	161	2	84	59	75	59
2010	5	2	1	1	1	1	1	84	4	129	83	181
2011	1	1	1	1	1	1	2	2	213	17	87	196
2012	149	1	5	2	2	115	2	3	1	92	107	224
2013	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	55	29
2014	56	1	1	1	1	1	2	1	2	71	97	80
2015	1	1	1	1	1	2	2	119	86	140	56	31

Frekari tölulegar upplýsingar um rennsli Þjórsár við Sandafell (IHA breytur, Tafla 4) er að finna í Viðauka 4.



Mynd 24. Dagsmeðalrennsli í Þjórsá við Krók frá 1958 til 2015 (m^3/s). Tölfræðileg greining á rennislsgögnunum er notuð til að skipta rennslinu upp í fimm flokka sem lýsa rennsisháttum á mælistaðnum (Tafla 3). Brotnu línurnar sýna tímasetningar þegar ný lón hafa verið tekin í gagnið. Rautt: óvenjulágt rennsli. Dökkgrænt: meðal-lágrennsli. Blátt: hárennslispúlsar. Skærgrænt: lítil flóð. Appelsínugult: stór flóð. *Average daily discharge in Þjórsá at Krókur 1958–2015. Statistical analyses on the discharge data is used to divide the discharge into five categories, extreme low flows, low flows, high flow pulses, small floods and large floods.*

4.1.5. Þjórsá við Krók (vatnshlot 103-663-R)

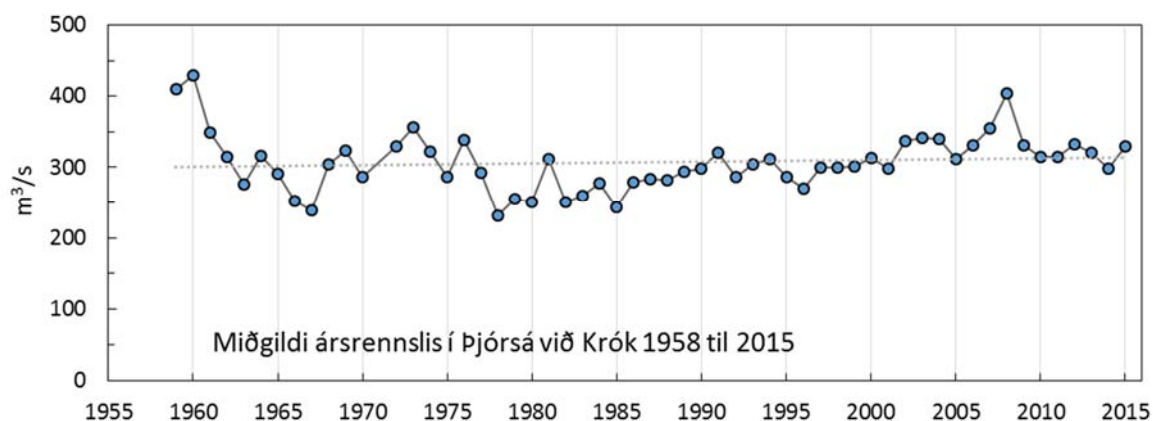
Samfelldar rennslisraðir eru til úr Þjórsá við Krók (hnit 63,933621°N -20,631347°V, Mynd 25) frá 1958 til dagsins í dag (Mynd 24). Þetta er lengsta rennslisröðin sem til er í Þjórsá og þar er hægt að sjá heildaráhrif virkjana á Þjórsá.

Meiri hluti vatns í Þjórsá er ættað af efri hluta vatnasviðsins. Meðalrennsli Þjórsár við Sandafell 1963–1999 var 236 m³/s, eða um 67% af meðalrennsli Þjórsár við Krók sem var 353 m³/s (Landsvirkjun, 2016). Að meðaltali bætast því 117 m³/s í farveg Þjórsár á um 70 km kafla farvegar Þjórsár, frá Sandafelli að Króki.

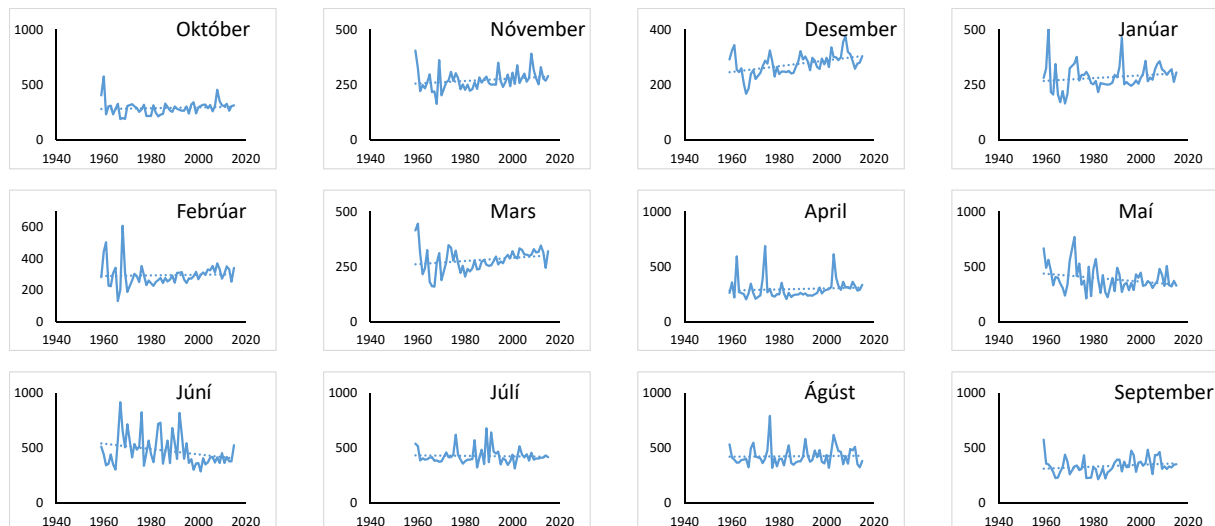
Búrfell er neðsta virkjunin í Þjórsá og neðan hennar er Þjórsá öll í sínum náttúrulega farvegi, ólíkt því sem víða er ofan Búrfells á Þjórsár–Tungnaársvæðinu. Miðgildi mánaðarrennslis í Þjórsá við Krók frá 1959–2015 má finna í töflu hér að neðan (Tafla 9).



Mynd 25. Loftmynd af Þjórsá við Krók (mynd af ja.is). Mælistaðurinn er staðsettur um 1,7 km ofan við Þjórsárbrú á Þjóðvegi nr. 1. *Aerial photograph of Þjórsá at Krók. The red symbol shows the location of the gauging station.*



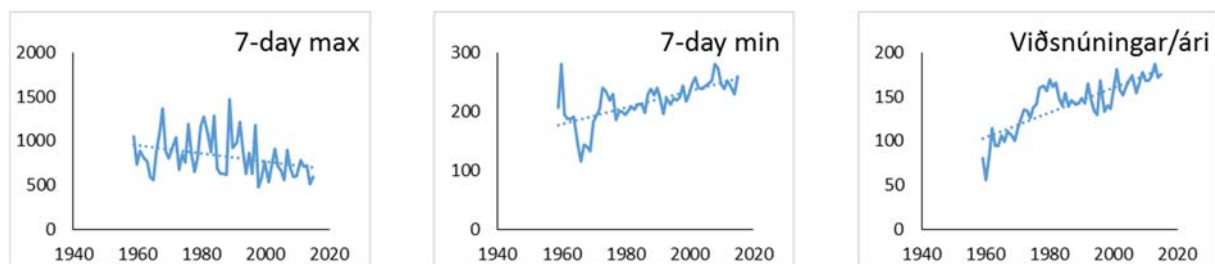
Mynd 26. Miðgildi ársrennslis Þjórsár við Krók. Heildarrennslid hefur ekki breyst við Krók þrátt fyrir virkjanir á efri hlutum vatnasviðsins þar sem vatn í lónum skilar sér aftur út í farveg árinna langt ofan við mælistaðinn við Krók. *Median annual discharge in Þjórsá at Krók.*



Mynd 27. Miðgildi mánaðarrennslis Þjórsár við Krók (m^3/s) frá 1958 til 2015. *Median monthly discharge in Þjórsá at Krókur, 1958–2015.*

Miðgildi ársrennslis Þjórsár við Krók hefur ekki breyst frá upphafi mælinga 1958 til 2015 (Mynd 26). Það helgast af því að heildarvatnsmagn hvers árs á þessum stað í ánni stjórnast af loftslagi en ekki vatnsaflsvirkjunum, þar sem vatnið skilar sér á endanum aftur út í farveginna eftir dvöl í lónum og för í gegn um rör og túrbínur. Hinsvegar breytist árstíðasveifla rennslis við miðlun vatns í vatnsaflsvirkjunum (Mynd 28 og Mynd 30).

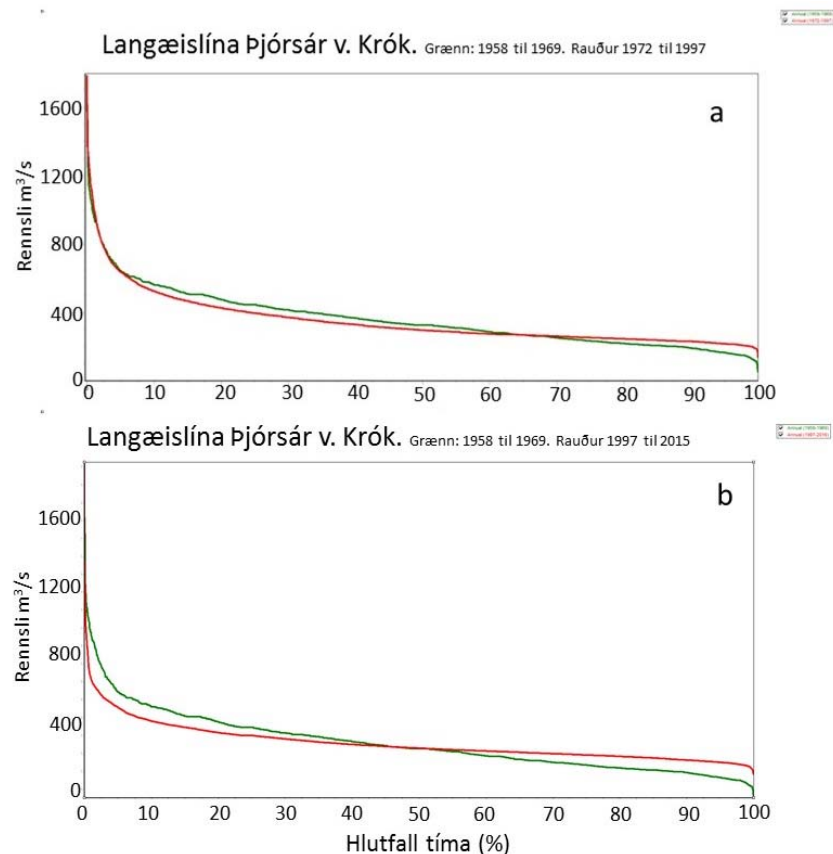
Eins og sjá má á Mynd 24 hafa rennslissveiflur dempast eftir árið 1972, þegar Þórisvatnsmiðlun var tekin í rekstur. Sérstaklega var um hækkað lágrennslis að ræða til að byrja með. Eftir árið 1997, eftir framkvæmkvæmdir við Þjórsárlón, Hágöngulón, Sultartangelón og Vatnsfellslón, hefur tíðni flóða minnkað (grænn og appelsínugulur á Mynd 24). Vetrarrennslis frá nóvember til mars hefur aukist en vorflóð hafa minnkað mjög mikið eftir árið 1997 (Mynd 27). Rennslis í júlí, ágúst og september hefur ekki breyst á tímabilinu.



Mynd 28. Sjö daga hárennslis og sjö daga lágrennslis (m^3/s) í Þjórsá við Krók. Einnig fjöldi rennslis viðsnúninga á ári, þar sem rennslis ýmist eykst eða minnkar. *Median monthly discharge in Þjórsá at Krókur, 1958–2015.*

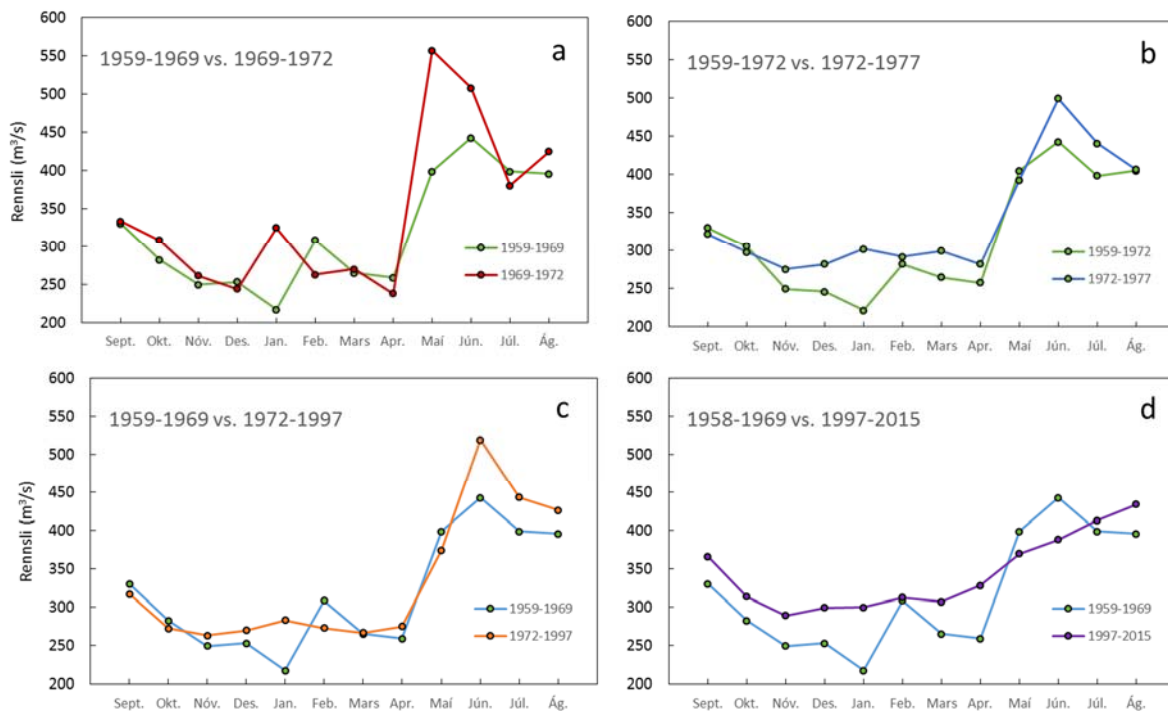
Lágrennslis hefur aukist og hárennslis hefur minnkað í Þjórsá við Krók (Mynd 28), þannig að rennslis er jafnara yfir árið eftir virkjanir en áður. Rennslisbreytingar eru þó tíðari eftir því sem meira af rennslis er stjórnað vegna raforkuframleiðslu. Fjöldi viðsnúninga í rennslis Þjórsár við Krók hefur aukist mikið með tímanum eftir virkjun (Mynd 28). Á árunum 1959–1969 var fjöldi viðsnúninga í rennslis (úr vaxandi yfir í minnkandi rennslis og öfugt) frá 80 til 114 skipti á ári, eða þriðja til fimmta hvern dag að meðaltali. Eftir að virkjunarframkvæmdir hófust hefur tíðni viðsnúninga í rennslis aukist og frá árinu 1998 til 2015 hefur tíðnin verið frá 137 til 187 skiptum á ári, eða

annan til þriðja hvern dag (Mynd 28). Á sama tíma hefur hraði rennslisaukningar (Tafla 4) minnkað úr 25 í 15 m³/dag og hraði rennslislækkunar aukist að sama skapi úr 15 í 25 m³/dag (Viðauki 10). Rennslisbreytingarnar í Þjórsá eru því tíðari eftir virkjanir en við náttúrulegt rennsli, ásamt því sem hraði þeirra hefur breyst. Líklegast er að rennslisbreytingarnar séu til komnar vegna rennslisstjórnunar í tengslum við virkjanirnar þó að loftslagsbreytingar geti einnig valið tíðari rennslisbreytingum – sjá umfjöllun í kafla 5.2. Þó er líklegt að rennslisbreytingar af völdum loftslagsbreytinga séu hægar en af mannavöldum.



Mynd 29. Langæislínur Þjórsár við Krók. Mynd a sýnir tímabilin 1958-1969 (grænn) og 1972-1997 og mynd b sýnir tímabilin 1958-1969 (grænn) og 1997 til 2015 (rauður). Halli langæislínunnar hefur minnkað með aukinni raforkuvinnslu og miðlun á vatnasviðinu. *Flow duration curves for Þjórsá at Krókur. The upper figure shows the flow duration before (green) and after water management, before Hágöngulón construction (red). The lower figure shows the flow duration before (green) and after Hágöngulón construction 1997–2015 (red).*

Mynd 29 a og b sýnir langæislínur á tímabili áður en virkjunarframkvæmdir hófust á vatnasviði Þjórsár, 1958–1962, og eftir að virkjanir hófust, frá 1972 til 1997 (mynd a) og frá 1997 til 2015 (mynd b). Rauði ferillinn á báðum myndum sýnir rennslishætti eftir að virkjunarframkvæmdir hófust á vatnasviðinu og sá græni er viðmiðunarferill áður en framkvæmdir hófust. Halli langæislínunnar hefur minnkað með aukinni miðlun á vatnasviðinu og líkist nú æ meira langæislínu lindaáa eins og Brúará, Eystri-Rangá (Gunnar Orri Gröndal, 2004). Á ferlunum má sjá að stærstu flóð eru enn jafnstór og fyrir tíma virkjana en tíðni minni flóða hefur minnkað, sérstaklega eftir 1997 (Mynd 29b). Helming ársins er rennsli svipað og það var fyrir árið 1969 en lágrengslið er hærra en áður (Mynd 29b).



Mynd 30. Miðgildi rennslis Þjórsár við Krók. Samanburður rennslis á mismunandi tímabilum. 1959 til 1969 náttúrulegt rennsli, 1969: Búrfellsstöð hóf rekstur, 1972: Þórisvatnsmiðlun, 1977: Krókslón, 1997-1998: Þjórsárlón og Hágöngumiðlun. *Median monthly discharge of Þjórsá at Krókur, a: 1959–1969 natural discharge, 1969: operation of Búrfellsstöð power plant, 1972: Þórisvatnsmiðlun reservoir, 1977: construction of Krókslón reservoir, 1997-1998 construction of Þjórsárlón og Hágöngumiðlun.*

Mynd 30 sýnir miðgildi rennslis Þjórsár við Krók á mismunandi tímabilum. Mynd 30a sýnir samanburð á náttúrulegu rennsli Þjórsá (grænn ferill) og rennsli hennar eftir að Búrfellsvirkjun tók til starfa 1969 en áður en Þórisvatnsmiðlun hófst 1972. Ekki hefur Bjarnalón og Búrfellsvirkjun haft mikil áhrif á rennsli Þjórsár en mikill rennslistoppur á rauða ferlinum í maí getur stafað af því að gagnaröðin er stutt frá 1969–1972. Mynd 30b sýnir samanburð á náttúrulegu eða nær-náttúrulegu rennsli frá 1958-1972 og rennsli eftir að Þórisvatnsmiðlun hófst 1972 til 1977 þegar Krókslón var myndað. Þar sést að árstíðabundin rennslissveifla er enn til staðar en rennsli var hærra yfir árið á tímabilinu 1972–1977. Á mynd 29c er ótruflað rennsli borið saman við rennslisferil frá 1972–1977, á tímabili mikilla framkvæmda við Þórisvatnsmiðlun, Krókslón, Hrauneyjafosslón og Kvíslarveitur I-IV. Loks sýnir 29d ótruflaðan rennslisferil borinn saman við rennslisferil frá árunum 1997–2015, eftir að Þjórsárlón og Hágöngulón voru myndað.

Árstíðasveifla rennslis á myndum Mynd 30 a, b og c er svipuð. Á mynd d, sem sýnir rennsli Þjórsár eftir 1997 samanborið við ótruflað rennsli, má hins vegar sjá umtalsverða breytingu þar sem rennslisferillinn eftir 1997 er mun flatari yfir árið en ótruflaður rennslisferill. Árstíðasveiflan hefur því dæmpt mikið eftir 1997 með auknu vetrarrennsli og minnkandi sumarrennsli. Það má rekja til aukinnar vatnsmiðlunar eftir árið 1997 með tilkomu Hágöngulóns, sem safnar öllu sumarrennsli Köldukvíslar og miðlar vatninu á öðrum tímum þegar afrennsli af vatnasviðinu er minna. Loftslagsbreytingar fletja einnig út árstíðasveiflur í rennsli jökuláa og er fjallað um það frekar í kafla 4.2.

Af þessari greiningu á rennsli Þjórsár við Krók má sjá að mikilvægt er að brjóta upp rennslisraðir eftir tímabilum þegar skoða á áhrif loftslags og virkjana á rennslishætti vatnsfalla, þar sem rekstur vatnsaflsvirkjana getur haft ólíkar afleiðingar á rennsliseiginleika straumvatna eftir staðsetningum og miðlunareiginleikum lóna, og rekstri virkjana.

Tafla 9. Miðgildi mánaðarrennslis í Þjórsá við Krók (m^3/s) frá 1959 til 2015. *Median monthly discharge of Þjórsá at Krókur (m^3/s) from 1959 to 2015.*

Ár	September	Október	Nóvember	Desember	Janúar	Febrúar	Mars	Apríl	Maí	Júní	Júlí	Ágúst
1959	576	405	405	293	282	282	415	261	664	513	541	534
1960	359	576	325	325	325	444	444	356	490	443	519	415
1961	353	232	221	345	504	504	309	219	561	345	389	396
1962	325	306	250	256	217	229	215	593	461	358	408	368
1963	284	311	235	246	207	225	242	268	330	443	396	371
1964	228	232	260	260	345	309	325	259	405	353	399	392
1965	235	282	298	205	207	342	181	248	399	306	415	396
1966	286	328	217	168	171	131	160	202	347	576	418	405
1967	330	190	220	186	221	203	159	257	306	918	386	328
1968	442	198	164	239	166	609	265	343	237	657	389	500
1969	379	192	362	253	209	309	311	258	336	508	377	549
1970	264	309	202	221	325	188	188	208	557	717	380	424
1972	333	325	262	244	347	263	270	238	769	416	461	408
1973	342	306	270	268	377	303	347	390	415	538	418	365
1974	302	290	309	288	270	288	336	686	526	488	418	405
1975	311	256	269	277	295	252	277	266	336	511	441	482
1976	436	277	303	325	295	353	322	298	371	825	621	793
1977	229	319	281	288	309	297	265	235	211	340	441	322
1978	230	217	230	230	290	232	221	227	497	455	396	411
1979	232	217	252	265	258	261	253	248	232	569	359	336
1980	326	217	228	239	253	244	205	247	475	448	380	402
1981	310	314	251	248	268	227	239	352	569	374	396	405
1982	218	248	224	248	217	252	228	256	386	522	396	345
1983	264	215	230	246	258	264	242	207	260	722	402	444
1984	321	230	261	251	256	277	277	260	421	731	572	526
1985	225	237	232	242	253	246	237	224	265	359	325	365
1986	280	330	284	244	251	277	239	240	221	470	411	350
1987	295	301	260	265	253	256	272	245	306	569	486	371
1988	319	268	276	285	260	268	280	246	396	365	356	380
1989	371	256	288	322	295	293	258	261	277	682	681	380
1990	396	303	258	293	285	248	253	245	490	547	374	424
1991	396	282	251	303	330	310	256	256	431	404	642	584
1992	289	272	252	285	465	311	275	236	270	820	468	431
1993	377	265	251	253	253	314	295	238	336	623	451	377
1994	326	265	350	298	263	268	260	235	353	405	468	392
1995	330	303	268	288	253	246	272	248	285	545	353	479
1996	477	239	240	265	246	275	265	259	350	367	408	418
1997	438	322	263	258	256	274	290	309	288	400	392	482
1998	285	342	297	295	270	289	303	257	428	305	347	377
1999	368	242	244	275	256	315	288	281	399	362	380	362
2000	377	295	306	298	282	270	319	289	444	365	441	438
2001	340	309	254	265	301	297	295	295	325	289	317	322
2002	363	319	339	336	359	312	287	315	332	408	420	474
2003	486	321	259	301	266	299	332	611	368	352	517	620
2004	374	288	281	300	283	331	325	397	350	372	443	539
2005	266	317	301	290	274	326	305	326	306	416	416	474
2006	438	261	265	301	321	353	304	288	340	420	445	466
2007	437	307	282	357	345	313	299	362	368	370	387	355
2008	464	456	391	376	357	370	303	309	478	417	458	429
2009	314	350	315	320	320	332	329	314	424	366	396	360
2010	336	314	280	312	312	274	314	300	325	456	407	493
2011	311	307	253	287	296	306	317	361	505	367	406	480
2012	334	329	331	259	310	350	346	326	330	420	413	511
2013	326	266	279	277	321	331	314	281	320	381	416	355
2014	350	308	269	281	264	254	245	288	371	381	433	328
2015	354	314	290	304	307	341	320	334	326	528	418	384

Frekari tölulegar upplýsingar um rennsli Þjórsár við Krók (IHA breytur, Tafla 4) er að finna í Viðauka 5.

4.2 Framburður svifaurs

Svifaur í Þjórsá er að mestu upprunninn frá jöklum á efri vatnasviðum Þjórsár. Aurframburður vatnsfalla stjórnast af rennsli og framboði efnis á vatnasviði, og eykst flutningsgeta vatnsfalla fjórfalt við tvöföldun á rennsli. Magn svifaurs í vatnsföllum hafa mikil áhrif á möguleika lífríkis í ánum þar sem vatnsföll sem bera fram mikið magn svifaurs hafa mikinn rofmátt og þar sem skyggni í þeim er oft lítið, sem hamlar frumframleiðni og fæðuöflun dýra.

Haukur Tómasson (1982) gerði grein fyrir mælingum á aurframburði Þjórsár og Tungnaár og áhrifum virkjana á hann. Eftirfarandi samantekt á gögnum um framburð svifaurs fyrir virkjun og á fyrstu árum eftir virkjanir, byggir að miklu leyti á þeirri skýrslu.

Tungnaá flytur mun grófari svifaur en Efri Þjórsá þar sem Tungnaá er á gosbeltinu og er vatnasvið hennar hulið mjög sendnum jökulruðningi (Haukur Tómasson, 1982). Á tímabilinu 1963 til 1969, áður en virkjanasaga Þjórsár hófst, var svifaur Þjórsár við Urriðafoss 3,1 milljónir tonna á ári og Tungnaár við Hald, neðan ármóta við Köldukvísl, 1,46 milljónir tonna. Um 60% framburðarins við Urriðafoss var grófur ($>0,02$ mm, sandur/mór) en 40% hans var fíngerður ($<0,002$, méla/leir). Um 75% aurburðarins í Tungnaá við Hald var grófur og um 25% var fíngerður. Mismunur á framburði Þjórsár við Urriðafoss og Tungnaár mat Haukur að væri kominn frá Efri Þjórsá og út frá því að Efri Þjórsá bæri með sér nokkurnvegin jafn mikinn aur og Tungnaá en þó fínkornóttari (Haukur Tómasson, 1982).

Svifaursmælingar við Urriðafoss frá árunum 1970 til 1975 gáfu til kynna að 0,6–0,9 milljón tonn/ári af svifaur settust til í Bjarnalóni á þessum fyrstu árum virkjunarsögu Þjórsár. Samanburðarmælingar sem gerðar voru á svifaur við Búrfell og Urriðafoss 1970 til 1972 bentu til að 1,1–1,2 milljónir tonna á ári hafi sest til ofan Búrfellsvirkjunar á þessum árum (Haukur Tómasson, 1982).

Áhrifa frá Sigölduvirkjun (Krókslóns) á aurframburð fór að gæta 1977. Samanburður á aurframburði Þjórsár við Sandafell 1970–1975 og 1977–1979 benti til að 0,7 til 0,9 milljónir tonn/ári af aur hafi sest til í Krókslóni og megnið af þeirri minnkun var í grófari kornastærðum. Þetta var um 80–90% af áætluðum heildarframburði svifaurs Tungnaár fyrir virkjun (Haukur Tómasson, 1982). Niðurstöður sínar á breytingum á aurframburði eftir virkjun notaði Haukur til að setja fram samband á milli viðstöðutíma vatns í lónum og aurstöðvun í þeim. Þar kemur í ljós að vatn sem dvelur aðeins hluta úr degi í lóni missir um 80% af grófefni og um 33% af fínefni og dvalartími í um 10 daga veldur um 90% stöðvun grófaurs og ríflega 60% stöðvun fínaurs. Og dvalartími í Þórisvatni (um 500 dagar) veldur nær algerri stöðvun fínaurs (Haukur Tómasson, 1982).

Á fyrstu árunum eftir að virkjun Þjórsár hófst, 1970–1979, minnkaði framburður svifaurs í Neðri Þjórsá úr 3,1 milljón tonna á ári í 1,7 milljón tonna á ári (Haukur Tómasson, 1982). Svifaursminnkuninni fylgdi rof í farvegi Neðri Þjórsár þar sem minnkandi aurframburður frá efri hlutum vatnasviðsins olli auknum rofmætti árinna á áreyrum Neðri Þjórsár. Áin hefur því grafið sig niður á auraköflum og leitað í ákveðna farvegi í stað þess að mynda ála sem einkenndu farveginn fyrir virkjun (Haukur Tómasson, 1982).

Á síðustu árum hefur framburður svifaurs verið rannsakaður frekar. Jórunn Harðardóttir og Svava Björk Þorláksdóttir (2002; 2003) gerðu grein fyrir samanburðarrannsóknum á mismunandi aðferðum við sýnatöku í Neðri Þjórsá við Urriðafoss og samanburði á milli Þjórsár við Urriðafoss og Þjórsár við Krók, litlu ofan við Urriðafoss. Niðurstöðurnar eru í stuttu máli að sýni sem safnað var við Krók innihalda meira af sandi en sýni sem safnað var af bakka og af kláfi við Urriðafoss. Þá voru vetrarsýni með hærra hlutfall af grófu efni ($>0,006$ mm) en sumarsýni sem innihéldu meira af fínum kornum ($<0,002$ mm). Rannsóknin sýndi einnig að sýni sem tekin voru af bakka við Urriðafoss ná einungis um 50% af aurframburði Þjórsár við Urriðafoss, miðað við sýni sem safnað var af kláfi, þar sem sýnatakinn sem notaður er við bakkasýni nær ekki út í mesta straumpunga árinna (Jórunn Harðardóttir og Svava Björk Þorláksdóttir, 2003).

Jórunn Harðardóttir og Snorri Árnason (2006) tóku saman niðurstöður aurburðarmælinga við Sóleyjarhöfða ofan Norðlingaöldu árið 2003 til 2005. Þar er birtur svifaurslykill með sumarsýnum sem nýtist við að greina framburð svifaurs við sumarrennsli við Sóleyjarhöfða. Ekki hefur verið gerður svifaurslykill fyrir vetrarrennsli við Sóleyjarhöfða.

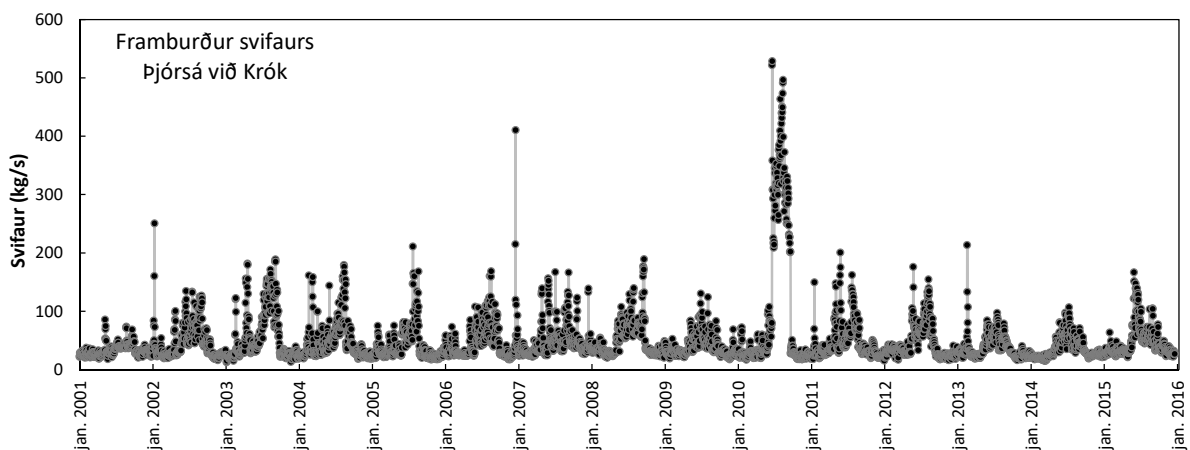
Esther Hlíðar Jenssen o.fl. (2013) hafa unnið frekar úr á mælingum á svifaur í Neðri Þjórsá og birt svifaurslykla fyrir sumar- og vetrarrennsli á nokkrum mælingastöðum. Þau gera einnig grein fyrir árlegum framburði svifaurs í Neðri Þjórsá. Niðurstöðurnar sýna að framburðurinn eykst eftir því sem neðar dregur á vatnasvið Neðri Þjórsár og eru eftirfarandi (miðað við árslykil): Þjórsá við Miðtanga, um 5 km neðan Búrfells, (2005–2010) 0,70 milljón tonn/ár, Þjórsá við Kaldárholt í Holtum (2007–2010) 0,87 milljón tonn/ár, Þjórsá við Krók (2001–2010) 1,43 milljón tonn/ár, Þjórsá við Urriðafoss, kláfur (2002–2010) 1,2 milljón tonn/ár (Esther Hlíðar Jenssen o.fl., 2014). Aukningin getur stafað af rofi á áreyrum Neðri Þjórsár sökum minnkandi svifaursframburðar frá efri hlutum vatnasviðsins í kjölfar virkjanna og aukins rofmáttar árinna sökum þess. Miðað við niðurstöður svifaursmælinga frá 2001–2010 er framburður svifaurs í Þjórsá við Urriðafoss aðeins 39% (Esther Hlíðar Jenssen o.fl., 2013) af því sem hann var 1963–1970 fyrir virkjanir (3,1 milljón tonn/ár, Haukur Tómasson, 1982).

Svifaursstyrkur í Þjórsá er mjög breytilegur eftir rennsli árinna, og er frá 10–250 mg/l (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2016 og systurskýrslur). Mestur er styrkurinn í flóðum en sumarstyrkur svifaurs er hærri en gerist og gengur á veturnar. Sökum mikillar rennslisjöfnunar í Þjórsá eftir virkjun er nú minni munur á árstíðabundnum styrk svifaurs en var fyrir virkjun.

Í lok júní 2010 var miklu vatni hleypt úr Sultartangalóni sökum umfangsmikilla viðgerða á Sultartangastíflu þar sem gjótvörn var endurnýjuð og flóðvar hækkað (Landsvirkjun, 2010a). Við þetta jókst dagsmeðalrennsli Þjórsár við Þjórsártún – Krók úr 467 m³/s þann 25. júní 2010 í 690–700 m³/s dagana 26. og 27. júní 2010 (Landsvirkjun, 2016a). Rennsli Þjórsár fór svo aftur niður eftir þetta tveggja daga rennslisskot. Vatnsborðslækkuninni í Sultartangalóni fylgdi hins vegar mikið magn af aur úr Sultartangalóni niður í Þjórsá sem varð vart við í byggð löngu eftir að vatn tók að lækka að nýju (Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson, 2011; Benóný Jónsson og Magnús Jóhannsson, 2012). Svifaursýni sem safnað var úr Þjórsá við Urriðafoss í júlí og september 2010 styðja það. Styrkur svifaurs var 221 mg/l við rennsli 292 m³/s þann 6. júlí 2010 og 339 mg/l við rennsli 448 m³/s þann 6. september 2010 sem er mun meira en venjulega. Styrkur svifaurs í öðrum sýnum sem safnað þetta ár, í maí og desember, skáru sig ekki úr miðað

við viðmiðunarárin 1996–2009 og 2011–2016 (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2011). Til samanburðar var styrkur svifaurs í sýnum sem safnað var við Urriðafoss á árunum 1996–2009 og 2011–2016, við sambærilegt rennsli og júlí og septemberssýnunum var safnað við árið 2010, var 10–70 mg/l og 60–170 mg/l. Það bendir til þess að svifaursstyrkurinn hafi verið 3–22 sinnum hærri í júlí 2010 og 2–6 sinnum hærri í september 2010 en í viðmiðunarárunum og væntanlega töluvert miklu hærri þá daga þegar rennsli var mest, 25.–27. júní. Svo virðist sem botnlökur Sultartangastíflu hafi verið opnar fram til loka september þegar vatnsstaða í Sultartangalóni byrjaði að hækka samkvæmt vatnshæðamæli Landsvirkjunar í lóninu (Landsvirkjun, 2010b; 2017b). Gert er grein fyrir áhrifum þessa atburðar á stærð seiða í Þjórsá neðan Búrfell í kafla 4.5.3.2.

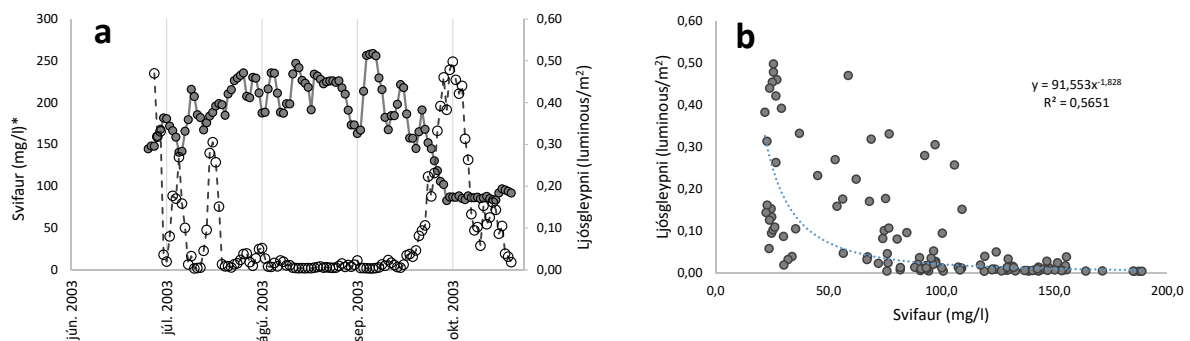
Svifaurslyklar fyrir árin 2001–2010 (Esther Hlíðar Jensen o.fl. 2013) og dagsmeðalrennsli í Þjórsá (Landsvirkjun, 2016a), auk upplýsinga um aukinn svifaur í Þjórsá við Urriðafoss 2010 (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2011), gera það kleift að reikna meðalframburð svifaurs í Þjórsá á dagsgrundvelli. Mynd 31 sýnir reiknaðan dagsmeðalframburð svifaurs (kg/s) í Þjórsá við Krók frá 2001–2015 reiknaður út frá vetrar- og sumar-svifaurslyklum (Esther Hlíðar Jensen o.fl. 2013), nema fyrir tímabilið frá 26. júní til 26. september sem var reiknað með því að nota samband rennslis og svifaursstyrks tveggja sýna sem safnað var í júlí–september 2010 þegar var verið að hleypa úr Sporðöldulóni, en hætt var að hleypa úr Sultartanga þann 26. september 2010 ef marka má vatnshæðamælingar í Sultartangalóni frá þeim tíma (Landsvirkjun, 2010b; 2017b). Svifaurslykillinn frá Esther Hlíðar Jenssen o.fl (2013) tók aðeins til sýna sem safnað var frá 2001–2010 en var hér notaður til að reikna svifaursframburðinn frá 2010 til 2016 í þessari skýrslu þrátt fyrir að Sporðöldulón hafi verið myndað á þessu tímabili. Vert er að geta þess að svifaurslykillinn er byggður á sýnum sem safnað var við Þjórsártún, Krók (V320) á tímabilum með og án rennslis um botnlökur á Sultartangavirkjun (Esther Hlíðar Jensen o.fl. 2013) og nýtist því vel við reikninga á svifaur í Þjórsá, með og án rennslis um botnlökur.



Mynd 31. Meðalframburður (kg/s) svifaurs í Þjórsá við Krók. Framburðurinn er reiknaður út frá dagsmeðalrennsli við Krók (Landsvirkjun, 2016) og svifaurslyklum fyrir vetur og sumar á sama stað (Esther Hlíðar Jensen o.fl. 2013) og mati á svifaursstyrk vs. rennsli byggt á sýnum teknum 2010 (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2011). *Average flux of suspended matter in Þjórsá at Krók. The flux is calculated using daily average discharge and discharge–sediment flux correlation (Esther Hlíðar Jensen o.fl. 2013; Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2011).*

Svifaurslyklarnir (Esther Hlíðar Jensen o.fl. 2013) eru gerðir þannig að þeir meta framburð svifaurs (kg/s) (Mynd 31). Styrkur svifaurs hefur hins vegar líklega meiri áhrif á lífríki vatnsfallsins heldur en framburður svifaurs, þar sem styrkurinn hefur áhrif á skyggnið í vatninu, sem hefur aftur áhrif á ljóstillífun og farmöguleika fiska. Hægt að fá mat á styrk svifaurs með því að deila í dagsmeðalframburð svifaurs með meðalrennsli hvers dags. Mat á styrk svifaurs með þessari aðferð gefur svifaursstyrk í Þjórsá við Krók um 70 mg/l í lágrennsli (vetrarástand) og 200-250 mg/l í hárennsli (sumarástand). Á tímabilinu júlí–september 2010, þegar lokur Sultartangastíflu voru opnar, benda þessir reikningar til þess að styrkur svifaurs hafi verið um 750 mg/l, sem er svipaður svifaursstyrkur og mældist í Jökulsá á Dal við Hjarðarhaga fyrir virkjun (1998–2003), við rennsli um 300 m³/s (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2014; Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2015 (rafrænn viðauki)).

Á tímabilinu 2001–2009 og 2011–2015 var vetrarframburður (okt–mars) 30±15 kg/s og sumarframburður (jún–sept) 67±31 kg/s (meðaltal±staðalfrávik). Á þessu tímabili reiknaðist mestur framburður í flóði í desember 2006. Hann reiknaðist um 410 kg/s en mældist um 340 kg/s í sýni sem safnað var við um 1050 m³/s rennsli í flóðinu (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2013). Dagsmeðalrennsli á meðan flóðið stóð yfir var 1914 m³/s. Framburður svifaurs í Þjórsá var hærri sumarið 2010 á meðan viðgerð á Sultartangavirkjun stóð og vatni var hleypt úr Sultartangalóni niður farveg Þjórsár. Reikningarnir fyrir sumarið 2010 eru aðeins byggðir á tveimur svifaursmælingum sem safnað var í júlí og september 2010 (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2011) og þarf að taka þeim með fyrirvara. Niðurstöður framburðarreikninganna benda til að framburður svifaurs í Þjórsá yfir það tímabil hafi verið 335±69 kg/s eða fimm sinnum hærri en meðalframburður svifaurs í Þjórsá var annars yfir sumarmánuðina.



Mynd 32. Ljósgeypni og styrkur svifaurs í Þjórsá við Búða. a) Reiknaður styrkur svifaurs í Þjórsá við Urriðafoss (fylltir hringir) og mæld ljósgeypni í Þjórsá við Búða (opnir hringir) í júní til október 2003. b) samband svifaursstyrks við Urriðafoss og ljósgeypni eins og hún var mæld við Búða sumarið 2003. a) *Calculated sediment concentration and measured light absorption in Þjórsá at Búði (open circles) from June to October 2003.* b) *Correlation between sediment concentration and measured light absorption in Þjórsá at Búði.*

Veðiðimálastofnun mældi ljósgeypni í Þjórsá við Búða á meðan laxagengd stóð yfir á árunum 2002 til 2005. Ljósgeypnimælirinn var settur niður í maí/júní og tekin upp í október. Samanburður á niðurstöðum úr ljósgeypnimælinum og styrks svifaurs, sem reiknaður var út frá dagsmeðalrennsli við Urriðafoss (Landsvirkjun, 2016a) og svifaurslyklum (Esther Hlíðar Jensen o.fl, 2013) gefur til kynna að ekki er mikil fylgni á milli þessara tveggja þátta (Mynd 32). Það getur helgast af nokkrum þáttum: 1) ekki er um sömu mælistaði að ræða í ánni, 2) svifaursstyrkurinn er reiknaður út frá rennsli og lyklum, ekki mældur, sem skapar óvissu

3) hugsanleg setmyndun á ljósgjafa/ljós nema á ljósgleypnimælinum, 4) kornastærð svifaursins hefur mikil áhrif á bæði magn svifaurs og ljósgleypni, grófkorna svifaur er þungur en hefur minni áhrif á ljósgleypni en fínkorna svifaur, sem er að sama skapi léttur (Jórunn Harðardóttir og Snorri Árnason, 2006). Auk þess er hægt að velta fyrir sér hvort skýjafar og þar með ljósmagn, og mismunandi vatnshæð geti haft áhrif á ljósgleypnimælinguna.

Samband reiknaðs svifaurs og ljósgleypni er ólínulegt og er fylgnin (R^2) um 0,56 á þessu gagnasafni (Mynd 32). Besta fylgnin var fyrir gagnasafnið frá 2003 og var það mun betra en frá hinum árunum. Ekki er því hægt að nota sambandið til að reikna svifaur út frá samfelldum ljósmælingum með þessari aðferð. Þó er hægt er að hugsa sér að þróa þessa aðferð nánar. Veðurstofa Íslands hefur gert tilraun til að meta svifaur út frá ljósmælingum í Þjórsá við Sóleyjarhöfða (Jórunn Harðardóttir og Snorri Árnason, 2006) sem leiddi í ljós að það er ágæt fylgni á milli vatnshæðar (og þar með rennslis og framburðar svifaurs) og ljósdeyfingar en sambandið er ólínulegt og einstaka toppar skera sig úr. Í skýrslunni eru settar fram vensl ljósdeyfingar og svifaursstyrks í mismunandi kornastærðaflokkum og styrkur svifaurs í einstaka kornastærðaflokkum reiknaður. Margt er þó sem getur haft áhrif á ljósmælinguna annað en magn svifaurs sem hafa þarf í huga, s.s. kornastærð, ljóseiginleikar efnisins og litur uppleystra efna/öragna. Hákon Aðalsteinsson (2010) sýndi einnig fram á sterkt samband á milli magns svifaurs og rýnis, þ.e. hve langt sólarljós nær niður í vatnsbolinn, í Lagarfljóti fyrir og eftir virkjun Jökulsár á Dal, þar sem rýni dvínaði hratt með auknum svifaursstyrk í Lagarfljóti. Þar eru leiddar líkur að því að kornagerð og kornastærð stjórni sambandi svifaursmagns og rýnis, og að ummyndaðar steindir sögi meira af ljósi í sig en óveðraðar svifaursagnir.

Á síðustu árum hafa verið gerðar rannsóknir á afdrifum svifaurs í strandsjó sem benda til þess að uppleysing svifaurs í sjó geti haft umtalsverð áhrif á efnasamsetningu sjávar, hvort sem miðað er við stuttan eða langan tímakvarða (Aller, 1998; Elrod et al., 2004; Matthildur Stefánsdóttir og Sigurður Reynir Gíslason, 2005; Noble et al., 2008; Arsouze o.fl., 2009; Peucker-Ehrenbrink et al., 2010; Jeandel et al., 2011; Jones et al., 2012a; 2012b; Singh et al., 2012; Pearce et al., 2013; Jones et al., 2014; Jeandel and Oelkers, 2015; Morin et al., 2015). Söfnun svifaurs í uppistöðulón í tengslum við framkvæmdir s.s. raforkuver eða áveitu er því líklegt til að hafa áhrif á styrk uppleystra efna í strandsjó. Mörg efnanna sem berast af landi til sjávar eru næringarefni sem eru nauðsynleg ljóstillífandi lífverum. Sum efnanna, m.a. margir málmar, eru aðeins nauðsynleg í mjög litlu magni. Þessi efni eru oft torleyst og berst af vatnasviðum á föstu formi (sem svifaur) en geta svo leyst upp, eða afsogast af yfirborði, í strandsjónum sökum breyttra umhverfisaðstæðna. Þar sem myndun uppistöðulóna minnkar framburð svifaurs meira en framburð uppleystra efna, veldur það einnig samdrætti á framburði torleysta efna sem berast fram með svifaurnum (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2017). Því má telja víst að stöðvun svifaurs í lónum geti haft áhrif á næringarefnaástand strandsjávarins (þó ekki N) og möguleika á frumframleiðni þar.

4.3 Styrkur og framburður uppleystra efna í Þjórsá–Tungnaá

4.3.1 Styrkur uppleystra efna í ám á vatnasviðunum

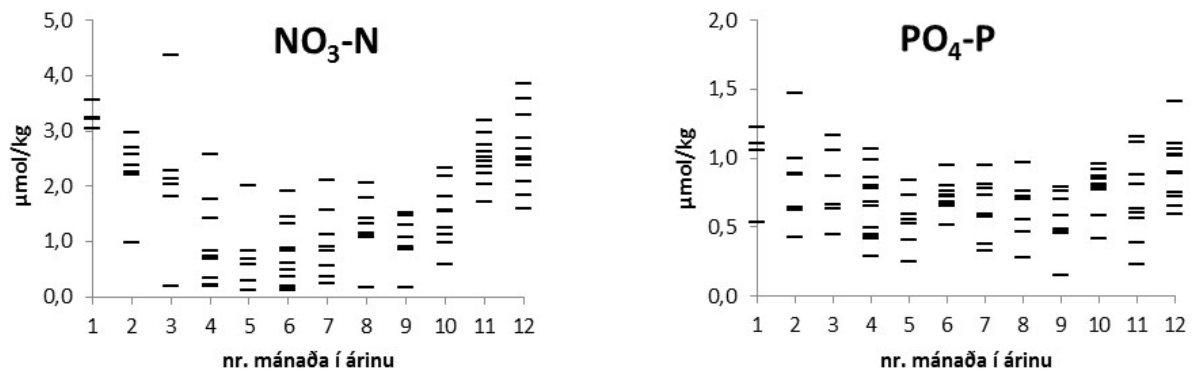
Efnasamsetning, rennsli og styrkur svifauris í Þjórsá og Tungnaá hefur verið vaktað á síðustu árum (Halldór Ármannsson o.fl., 1973; Sigurjón Rist, 1974; Sigurður Reynir Gíslason o.fl., 2007 og systurskýrslur frá 1997–2006; Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2016b og systurskýrslur frá 2008–2015). Mismörg vatnsföll hafa verið vöktuð eftir tímabilum á Suðurlandi en alltaf hefur verið lögð áhersla á vöktun á Þjórsá–Tungnaáarsvæðinu. Vöktun á efnasamsetningu Þjórsár við Sandafell fór fram á tímabilinu 1972–1973 og aftur 1997–1999. Efnasamsetning Þjórsár var einnig vöktuð við Urriðafoss á tímabilinu 1972–1973 og svo hefur staðið yfir samfelld vöktun þar frá árinu 1997 til dagsins í dag. Efnasamsetning Tungnaár var vöktuð við útfallið við Hrauneyjafossvirkjun frá 2012 til 2014. Efnasamsetning Sporðöldulóns og útfall við Búðarhálsvirkjun var einnig vöktuð á árunum 2013–2014 til að kanna hvort nýmyndun lóna á þessu svæði hefði áhrif á efnastyrk í vatni.

Helstu niðurstöður vöktunar Þjórsár eru þær að styrkur leystra aðalefna, nokkurra leystra snefilefna og leiðni lækkaði með auknu rennsli í Þjórsá við Urriðafoss (1996–2015) (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2016b) og Þjórsá við Sandafell (1996–1999) (Sigurður Reynir Gíslason o.fl., 1998). Þessi rennslisáhrif valda árstíðabundinni styrksveiflu aðalefna í Þjórsá. Styrkur Fe, Co og Pb var hæstur á vorin sem bendir til hugsanlegra frost–þíðu áhrifa á vatnasviðinu, en leysni margra málma er háð oxunarstigi umhverfisins og eykst eftir því sem styrkur súrefnis minnkar. Styrkur næringarefnanna NO_3 og PO_4 í Þjórsá við Urriðafoss lækkaði yfir sumartímann vegna upptöku þeirra af ljóstillífandi lífverum (Mynd 33). Styrkur þeirra er ekki háður rennsli.

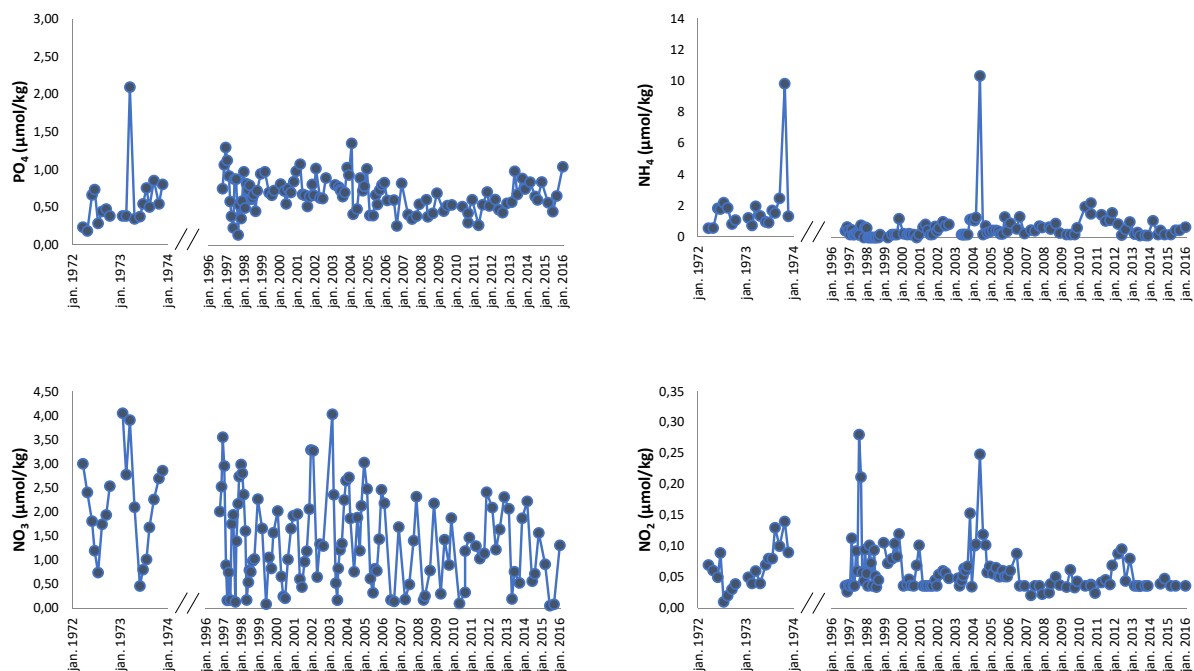
Meðalstyrkur leystra efna í Þjórsá við Urriðafoss, Þjórsá við Sandafell og Tungnaár við Hrauneyjafossvirkjun eru í Tafla 10 (Sigurður Reynir Gíslason o.fl., 1998; Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2016). Sjá má að styrkur flestra efna í Þjórsá og Tungnaá er sambærilegur. Þó er styrkur nokkurra efna (SO_4 , DIC, B) hærri í Tungnaá sem stafar trúlega af afrennsli af jarðhitasvæðum til árinna. Styrkur PO_4 í Tungnaá er einnig hærri sem getur einnig stafað af innstreymi jarðhitaættaðs vatns, en hugsanlega vegna minni upptöku fosfórs í Tungnaá vegna minni frumframleiðni. Styrkur klórs (Cl) í Tungnaá er lægri en í Þjórsá við Sandafell og Urriðafoss, sem stafar líklega af minni áhrifum sjávarsalta á vatnasvið Tungnaár en á vatnasvið Efri Þjórsár. Meðalstyrkur Fe, Mn, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb og Zn er lægri í Tungnaá en í Þjórsá (Tafla 10). Þó mældist styrkur Cd hár í nokkrum sýni í Þjórsá við Sandafell sem valda því að meðalstyrkur Cd er hærri í Þjórsá við Sandafell en á hinum stöðvunum. Meðalstyrkur á lífrænu kolefni og köfnunarefni í ögnum (POC og PON) hækkar eftir því sem neðar dregur á vatnasviðinu og er hæstur við Urriðafoss.

Tafla 10. Meðalrennsli og meðalstyrkur uppleystra efna og svifaura í Þjórsá og Tungnaá. Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofunnar. *Average discharge and concentration of suspended and dissolved matter in Þjórsá and Tungnaá.* *Meybeck 1979; Berner og Berner, 1996. ^aDOC reiknað út frá hlutfallinu DOC:TDS = 1:19 (Berner og Berner, 1996) ¹Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2016; ²Sigurður Reynir Gíslason o.fl. 1998; ³Galezcka o.fl., 2012.

		Þjórsá, Urriðafoss ¹	Þjórsá, Sandafell ²	Tungnaá, Hrauneyjaf. ¹	Kaldakvísl, Þveralda ³	Heims- meðaltal*
Tímabil		1996- 2015	1996- 1998	2012- 2015	14.7.2011 kl. 12:40	
fjöldi sýna		112	24	12	1	
Rennsli	m ³ /sek	368	320	208	210	
Vatnshiti	°C	5,05	3,92	5,66		
Lofthiti	°C	6,68	5,10	4,67		
pH		7,61	7,66	7,65		
Leiðni	µS/sm	78,2	78,8	76,2		
SiO₂	µmól/l	222	204	231	75	173
Na	µmól/l	404	404	440	359	226
K	µmól/l	13,2	12,8	14,3	8,9	33
Ca	µmól/l	121	119	136	225	334
Mg	µmól/l	72,1	71,4	84,8	110,0	140
Alkalinity	µeq/kg	574	585	638	790	
DIC	µmól/l	608	618	652	840	852
S-total	µmól/l	58,0		79,7		
SO₄	µmól/l	57,0	60,6	77,6	74,5	173
δ³⁴S	‰	2,88				
Cl	µmól/l	109	103	85,0	48,7	164
F	µmól/l	8,37	8,00	9,26	3,85	
TDS mælt	mg/l	63,4	75,2	61,9		100
TDS reiknað	mg/l	73,5		77,3	88,6	100
DOC	µmól/l	28,6	59,7	17,2	35,0	442 ^a
POC	µg/kg	347	240	180		
PON	µg/kg	36,2		21,0		
C/N	mól	12,8		10,0		
Svifaur	mg/l	102	129	39,0		
P-total	µmól/l	1,01		0,98	0,60	2,0
PO₄-P	µmól/l	0,734	0,867	0,922		0,8
NO₃-N	µmól/l	1,50	1,64	1,27		4,00
NO₂-N	µmól/l	0,072	0,092	0,052		
NH₄-N	µmól/l	0,709	0,929	0,364		0,500
N-total	µmól/l	3,79	2,54	2,22		14,5
P-total	µmól/l	0,911	0,904	1,025		2,0
Al	µmól/l	0,741	1,030	0,668	1,720	
Fe	µmól/l	0,327	0,539	0,222	1,080	
B	µmól/l	0,98		1,26	0,80	
Mn	µmól/l	0,07	0,06	0,02	0,25	
Sr	µmól/l	0,066	0,061	0,096	0,070	
As	nmól/l	1,27	1,26	1,39	1,40	
Ba	nmól/l	0,66	0,66	0,34	0,40	
Cd	nmól/l	0,05	0,23	0,02	<gm	
Co	nmól/l	0,34	0,24	0,15	1,20	
Cr	nmól/l	4,08	5,31	3,90	1,80	
Cu	nmól/l	4,31	3,96	2,47	6,90	
Ni	nmól/l	2,90	4,18	1,44	4,40	
Pb	nmól/l	0,095	0,123	0,063	0,10	
Zn	nmól/l	9,01	7,28	5,48	24,30	
Hg	nmól/l	0,01	0,02	0,01	<gm	
Mo	nmól/l	4,23	4,03	4,20	2,60	
Ti	nmól/l	26,6	57,0	35,3	161,9	
V	µmól/l	0,265		0,283	98,0	

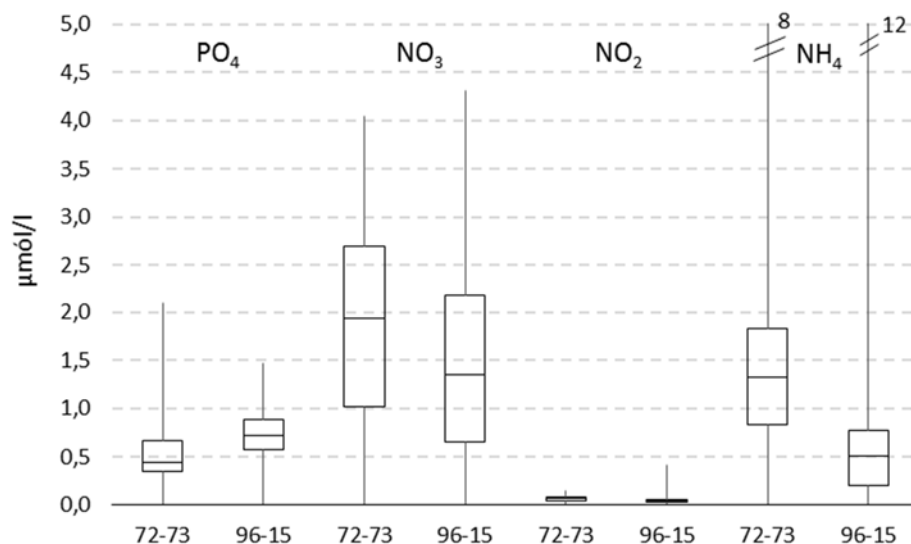


Mynd 33. Styrkur næringarefnanna NO_3 og PO_4 í Þjórsá við Urriðafoss. Hvert tákn stendur fyrir mældan styrk hvers sýnis sem safnað var á söfnunarstaðnum, raðað eftir því hvenær sýnið var tekið. Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofnunar (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2016). *Concentration of dissolved nutrients in Þjórsá at Urriðafoss. Database of Institute of Earth Sciences and the Icelandic Meteorological Office.*



Mynd 34. Tímaröð næringarefna í Þjórsá við Urriðafoss 1972–1973 og 1996–2015. *Time sequence of dissolved nutrients in Þjórsá at Urriðafoss 1972–1973 and 1996–2015 (Halldór Ármannsson, 1973; Sigurjón Rist, 1974; Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofnunar, Sigurður Reynir Gíslason o.fl., 1998; 2007; Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2016).*

Styrkur leystra aðalefna er lágur í íslenskum vötnum miðað við heimsmeðaltal (Tafla 10) en það stafar helst af því að flest vötn utan Íslands komast í snertingu við kalkstein sem leysist hratt upp í vatni. Því er heimsmeðaltal á heildarstyrk leystra aðalefna (TDS) mun hærri en það er í íslenskum straumvötnum (Sigurður Reynir Gíslason o.fl., 1996). Styrkur fosfórs og margra snefilefna er hærri í íslenskum straumvötnum en heimsmeðaltalið og það helgast af því að berggrunnurinn er gerður úr basalti sem er auðveðranlegt berg sem er ríkt af fosfór og mörgum málum, t.d. Fe, Ti, Cu, Cr, Ni (t.d. Bailey og Noe-Nygaard, 1976; Schmincke et al., 1982; Sæmundur Ari Halldórsson o.fl. 2008).



Mynd 35. Fjórðungsmörk styrks næringarefna í Þjórsá við Urriðafoss á árunum 1972–1973 og 1996–2015. *Quarterly distribution of nutrient concentration in Þjórsá at Urriðafoss 1972–1973 and 1996–2015.*

Styrkur næringarefnisins ortófosfats (PO₄) er fremur hár í íslenskum straumvötnum þar sem fosfat er bergættað og mikið af auðveðranlegu basalti á íslenskum vatnasviðum. Styrkur köfnunarefnis (NO₃, NO₂ og NH₄) er hins vegar yfirleitt minna í íslenskum straumvötnum en annarsstaðar, þar sem mikið af straumvötnum heimsins hefur orðið fyrir áhrifum af mengun af mannavöldum s.s. afrennsli áburðarefna af landbúnaðarsvæðum og útblæstri bíla. Mynd 34 sýnir styrk ólífrænna næringarefna í Þjórsá við Urriðafoss frá 1972–1973 og 1996–2016 og Mynd 35 sýnir fjórðungshlutamörk og styrkdreifingu þessara tveggja gagnasetta.

Meðalstyrkur PO₄-P var 0,57 µmol/l og staðalfrávikðið 0,41 µmol/l í rannsókninni 1972–1973 og 0,73±0,24 µmol/l 1996–2016, meðalstyrkur NO₃-N var 2,1±1,0 µmol/l 1972–1973 og 1,49±1,0 µmol/l 1996–2016, meðalstyrkur NO₂-N var 0,07±0,03 µmol/l 1972–1973 og 0,07±0,04 µmol/l 1996–2016 og meðalstyrkur NH₄-N var 1,82±2,0 µmol/l 1972–1973 og 0,70±1,18 µmol/l 1996–2016. Ekki er að sjá miklar breytingar á meðalstyrk þessara næringarefna með tíma í Þjórsá við Urriðafoss, en þó lítur út fyrir að meira sé tekið upp af NO₃ á landi í seinni tíð, þar sem styrkur þess er lægri á sumrin en hann var 1972–1973. Það getur stafað af auknum viðstöðutíma í lónum á landi og minnkandi svifaur í Þjórsá sjálfri, og þar með auknu rýni, sem eykur möguleika á ljóstillífun í ferskvatni. Hærri styrkur NH₄ á fyrra rannsóknartímabilinu getur stafað af breytingu á efnagreiningaraðferð eða meiri upptöku næringarefna. Efnagreiningar á ammóníum eru vandasamar og sýni með lágum ammóníumstyrk mengast auðveldlega af ammóníum úr andrúmsloftinu.

Í reglugerð nr. 796/1999 (<http://www.reglugerd.is/reglugerdir/allar/nr/796-1999>) er að finna skilgreiningar á flokkum yfirborðs- og grunnvatns m.t.t. mengunar og eru flokkarnir fimm talsins. Forsendum flokkunarinnar er nánar lýst í 10. gr. reglugerðarinnar og í fylgiskjali með reglugerðinni eru umhverfismörk einstakra efna og efnasambanda skilgreind fyrir ástand vatns (Tafla 11). Meðalstyrkur þessara efna í Þjórsá og Tungnaá fellur í flokk A, ósnortið vatn, nema meðalstyrkur fosfórs (P-total og PO₄) sem féll í flokk B, lítið snortið vatn.

Tafla 11. A og B) Umhverfismörk fyrir málma og næringarefni í yfirborðsvatni til verndar lífríki samkvæmt 9. grein reglugerðar 796/1999 og C) flokkun vatns í Þjórsá og Tungnaá samkvæmt henni. C) Samkvæmt flokkuninni fellur vatn í Þjórsá og Tungnaá alltaf í flokk A (ósnotið vatn) nema fyrir fosfór (P-total) sem fellur í flokk B (lítið snortið vatn) en fosfór í jökulám á Íslandi er hár af náttúrunnar völdum – sjá texta. A and B) *Environmental limits for metals and nutrients in surface water for the protection of the environment.* C) *Average concentration in Þjórsá and Tungnaá.*

A.						C.			
Umvhverfismörk fyrir málma og næringarefni í yfirborðsvatni til verndar lífríki						Meðalefnasamsetning Þjórsár og Tungnaár			
Málmar í yfirborðsvatni		A	B	C	D	E	Þjórsá, Urriðafoss*	Þjórsá, Sandafell**	Tungnaá, Hrauneyjaf.*
Kopar	µg/l	0,5	0,5-3	3-9	9-45	>45	0,274	0,251	0,157
Zínk	µg/l	5	5-20	20-60	60-300	>300	0,589	0,476	0,358
Kadmíum	µg/l	0,01	0,01-0,1	0,1-0,3	0,3-1,5	>1,5	0,005	0,026	0,002
Blý	µg/l	0,2	0,2-1	1-3	3-15	>15	0,020	0,025	0,013
Króm	µg/l	0,3	0,3-5	5-15	15-75	>75	0,212	0,276	0,203
Nikkel	µg/l	0,7	0,7-15	15-45	45-225	>225	0,170	0,246	0,085
Arsenik	µg/l	0,4	0,4-5	5-15	15-75	>75	0,095	0,094	0,104
Næringarefni í ám		A	B	C	D	E			
P-total	mg/l	<0,02	0,02-0,04	0,04-0,09	0,09-0,15	>0,15	0,031		0,030
PO ₄ -P	mg/l	<0,01	0,01-0,025	0,025-0,05	0,05-0,1	>0,10	0,053	0,035	0,031
NH ₃	mg/l	<0,01	0,01-0,025	0,025-0,10	0,1-0,25	>0,25	0,012	0,016	0,006
N-total	mg/l	<0,3	0,3-0,75	0,75-1,5	1,5-2,5	>2,5	0,053	0,035	0,031

B.					
Flokkun vatns					
Flokkur	A	B	C	D	E
Ástand	Ósnortið vatn	Lítið snortið vatn	Nokkuð snortið vatn	Verulega snortið vatn	Ófúlnægjandi vatn

*heimild: Eydis Salome Eiríksdóttir o.fl. 2016.

**heimild: Sigurður R. Gíslason o.fl. 1998.

Styrkur fosfórs í vatni á Íslandi er óvenjuhár af náttúrunnar völdum þar sem berggrunnurinn á Íslandi er auðleyst basalt sem er ríkt af fosfór. Frumframleiðni er takmörkuð af köfnunarefni í vatni á gosbeltinu öfugt við það sem gerist víðast hvar á jörðinni. Sérstaklega er styrkur fosfórs hár í jökulám á Íslandi sem og annarsstaðar á jörðinni þar sem mikil efnahvörf verða við botn jökla sökum mikilla samskipta vatns við fínulið berg undir jöklinum. Auk þess veldur lítil frumframleiðni í jökulvatni því að lítið er tekið upp af fosfór og því er það í hlutfallslega háum styrk miðað annað yfirborðsvatn (Sigurður Reynir Gíslason o.fl., 1996; Hodson o.fl., 2004; Hood og Berner, 2009). Þannig að, þótt að vatn í Þjórsá–Tungnaá falli í flokk B m.t.t. fosfórs, þýðir það ekki að það sé snortið vatn af mannavöldum heldur er styrkur fosfórs í ferskvatni á Íslandi hár frá náttúrunnar hendi.

Ef miðað er við miðgildi styrks PO₄ og NH₃ (Mynd 35) falla öll næringarefni innan flokks A, ósnortið vatn (PO₄-P: 0,16 µmól/l = 0,005 mg/l; NH₃: 0,49 µmól/l = 0,0085 mg/l). Það verður því að ákveða við hvað á að miða, miðgildi eða meðaltal efnastyrks.

4.3.2 Framburður uppleystra efna í ám á vatnasviðunum

Vatnsföll bera með sér mikið magn af efnum í föstu og á leystu formi. Þar sem sýnum úr vatnsföllum hefur verið safnað nálægt síritandi rennismælum hefur verið hægt að reikna framburð efna með vatnsföllum (Sigurður Reynir Gíslason o.fl., 1998; Eydis Salome Eiríksdóttir o.fl., 2016). Tafla 12 sýnir reiknaðan framburð Þjórsár við Urriðafoss og Sandafell og Tungnaá við Hrauneyjafossvirkjun. Framburðurinn er reiknaður samkvæmt viðauka 2 við Óslóar- og Parísarsamþykktina (Oslo and Paris Commissions, 1995) en þar er rennislisveginn meðalstyrkur

efna og langtímameðalrennsli hvers vatnsfalls notað til að meta framburðinn (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2016). Þetta hefur gefið góða raun við mat framburðar á leystum efnum en vanmetur framburð svifaurs, sérstaklega grófkornóttan svifaur, þar sem samband rennslis og svifaurs er sterkt. Því þarf að nota sérstaka svifaurslykla til að meta framburð svifaurs (t.d. Esther Hlíðar Jenssen, 2013; 2016). Hluti Tungnaár í framburði flestra uppleystra aðalefna Þjórsár við Urriðafoss er í hlutfalli við rennsli Tungnaár og eru um 60% aðalefna í Þjórsá við Urriðafoss er kominn úr Tungnaá (Tafla 12). Nokkur efni eru þó í meira mæli í Tungnaá en í Efri-Þjórsá. T.d. eru um 80 til 90% af framburði Þjórsár við Urriðafoss á brennisteini (S), bór (B) og strontíum (Sr) ættaður af vatnasviði Tungnaár, sem rekja má til jarðhita á vatnasviði Tungnaár og því aukningu á brennisteini og bór. Hærri framburð Sr í Tungnaá má skýra með veðrun á súru bergi á Torfajökulssvæðinu sem fellur svo til Tungnaár. Hlutfallslega lítið af málum sem berast fram með Þjórsá við Urriðafoss er hægt að rekja til Tungnaár. Mikið af málum sígur úr jarðvegi, annað hvort af mýrarsvæðum eða vegna framræsingar votlendissvæða og því getur bæst mikið við framburð málma eftir að straumvötn falla af hálendisbrúninni niður á láglandið.

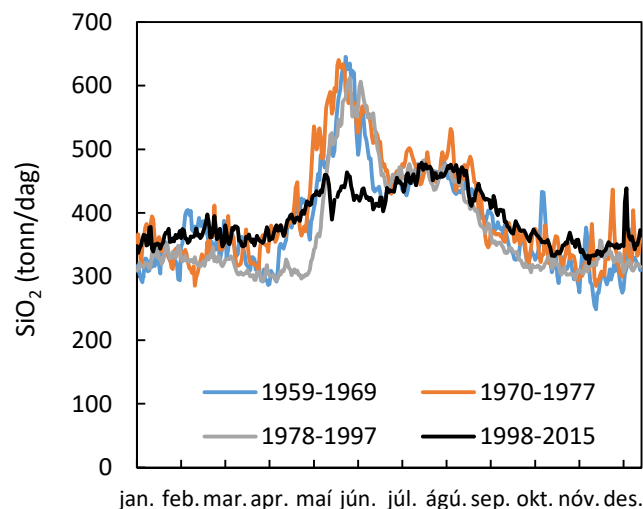
Framburður uppleystra efna og agna með straumvötnum er misjafn eftir árstíðum þar sem framburðurinn er bæði háður rennslismagni og efnastyrk (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2016). Því er óhjákvæmilegt að efnaframburður straumvatna breytist við rennslisbreytingar vegna virkjanaframkvæmda. Framburður svifaurs hefur breyst vegna virkjanaframkvæmda á Þjórsár–Tungnaásvæðinu eins og fjallað var um í kafla 4.3 og það sama má segja um framburð uppleystra efna. Styrkur uppleystra efna er ekki eins háður rennsli og styrkur svifaurs (Eydís Salome Eiríksdóttir, 2016; Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2016).

Samband rennslis og uppleysts kísils (SiO_2) frá árunum 1996–2016 hefur verið notað, ásamt dagsmeðalrennsli í Þjórsá við Urriðafoss 1959–2015, til að meta framburð kísils á mismunandi tímum (Mynd 36), en kísill er nauðsynlegt kísilþörungum til byggingar á skeljum sínum. Styrkur kísils í strandsjó við Ísland er oft mjög lágur þar sem virkni kísilþörunga er mjög mikil á ákveðnum árstímum, sérstaklega á vorin (Jón Ólafsson o.fl. 2008). Meðalstyrkur kísils í Þjórsá er $222 \mu\text{mól/l}$ (Tafla 10) sem er ríflega 40 sinnum hærra en að algengast er í strandsjó við Ísland (Jón Ólafsson o.fl. 2008). Framburður kísils af landi er því mikilvægur fyrir kísilþörunga í sjó, sérstaklega á vorin þegar virkni þeirra er mikil. Önnur næringarefni sem eru mikilvæg fyrir lífríkið í sjónum eru fosfór (PO_4) og köfnunarefni (níturat, NO_3). Meðalstyrkur fosfórs í Þjórsá er $0,7 \mu\text{mól/l}$ er hærri en í dragám (t.d. Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2016) en svipaður og í sjó á íslenska landgrunninu (Jón Ólafsson o.fl. 2008). Meðal styrkur nitrats (NO_3) í sjó á íslenska landgrunninu er $9,5 \mu\text{mól/l}$ (Jón Ólafsson o.fl. 2008) og meðalvetrarstyrkur þess í hafinu umhverfis Ísland í febrúar 2002 var $11,4\text{--}13,7 \mu\text{mól/l}$ (Sólveig R. Ólafsdóttir). Meðalstyrkur NO_3 í Þjórsá við Urriðafoss (1996–2015) var aðeins $1,5 \mu\text{mól/l}$ (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2016; Tafla 10).

Tafla 12. Meðalársframburður Þjórsár og Tungnaár á uppleystum efnum og svifaur (tonn/ár). Gögn úr Þjórsá við Urriðafoss ná yfir tímabilið 1996–2015, Þjórsá við Sandafell 1996–2000 og Tungnaá við Hrauneyjafossvirkjun 2012–2015. *Average annual flux of dissolved and suspended matter (tonne/year) in Þjórsá and Tungnaá.* ¹Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2016; ²Sigurður Reynir Gíslason o.fl. 1998.

		Þjórsá, Urriðafoss ¹	Þjórsá, Sandafell ²	Tungnaá, Hrauneyjaf. ¹	Tungnaá/Þjórsá Urriðaf. (%)
Rennsli	m³/s	357	296	208	58
SiO ₂	tonn/ár	151.575	108.632	91.515	60
Na	tonn/ár	104.354	81.574	66.082	63
K	tonn/ár	5.912	4.455	3.675	62
Ca	tonn/ár	55.073	42.965	35.714	65
Mg	tonn/ár	19.676	15.160	13.450	68
CO ₂	tonn/ár	304.835	240.365	186.968	61
S total	tonn/ár	62.320		50.185	81
SO ₄	tonn/ár	56.289	51.346	48.735	87
Cl	tonn/ár	42.569	32.432	19.786	46
F	tonn/ár	1.799	1.343	1.153	64
TDS mælt	tonn/ár	724.608	664.325	404.466	56
TDS reiknað	tonn/ár	763.656		512.402	67
DOC	tonn/ár	4.436	695	976	22
POC	tonn/ár	3.569	1.597		
PON	tonn/ár	338			
Svifaur	tonn/ár	1.314.079	1.492.557	267.465	20
P-total	tonn/ár	314		200	64
PO ₄ -P	tonn/ár	257	232	176	68
NO ₃ -N	tonn/ár	<241	190	113	47
NO ₂ -N	tonn/ár	<11	<10	<4	36
NH ₄ -N	tonn/ár	<110	<61	<34	31
N-total	tonn/ár	625	104	202	32
Al	tonn/ár	196	115	120	61
Fe	tonn/ár	213	<79	82	38
B	tonn/ár	108		<89	82
Mn	tonn/ár	41,9	27,2	7,4	18
Sr	tonn/ár	64,5	43,0	55,5	86
As	tonn/ár	<1,06	<0,62	<0,68	64
Ba	tonn/ár	0,88	0,45	0,305	35
Cd	tonn/ár	<0,031	<0,084	<0,015	48
Co	tonn/ár	0,228	<0,094	0,058	25
Cr	tonn/ár	2,37	2,09	1,32	56
Cu	tonn/ár	3,09	<1,90	1,010	33
Ni	tonn/ár	<1,93	<1,80	<0,58	30
Pb	tonn/ár	<0,226	<0,200	<0,086	38
Zn	tonn/ár	<6,36	<2,74	<2,35	37
Hg	tonn/ár	<0,024	<0,018	<0,013	53
Mo	tonn/ár	4,70	3,21	2,66	57
Ti	tonn/ár	14,5	5,53	11,2	77
V	tonn/ár	223		95	43
Pungmálmar	tonn/ár	<35,4	<18,7	<20,3	57

Á Mynd 36 er reiknaður framburður uppleysts kísils sýndur fyrir fjögur tímabil, 1959–1969, 1970–1977, 1978–1997 og 1998–2015. Áin var ótrufluð á fyrsta tímabilinu, 1959–1969, sem er sýnt með ljósbláum lit. Næsta tímabil, 1970–1977, er sýnt með gulum lit og endurspeglar framburð kísils eftir að Bjarnalón, Þórisvatnsveitur og Krókslón voru mynduð. Framburðurinn fellur vel að ótrufluðum framburði og eins grái ferillinn sem endurspeglar framburð frá 1978–1997, eftir myndun Hrauneyjalóns, Kvíslaveitur og Sigöldulón. Allir þessir ferlar sýna mikla árstíðabundna sveiflu sem endurspeglar rennsli árinna á þessum tímabilum, mikið rennsli frá maí og júní á meðan snjór á vatnasviðinu er að bráðna. Svarti ferillinn sem endurspeglar tímabilið 1998–2015 er ólíkur hinum þar sem maí–júní toppurinn er horfinn og vetrarrennsli er hærra. Þessi breyting gæti við fyrstu sýn stafað af loftslagsbreytingum og minni vorflóðum af þeirra sökum, en í kafla 4.2 eru leiddar líkur að því að minnkun rennslis í júní sé fyrst og fremst til komin vegna rennslisskerðingar af völdum virkjana á vatnasviði Þjórsár–Tungnaár og þá sérstaklega Hágöngulóns og stækkun Þórisvatns árið 1997. Það hefur bein áhrif til lækkunar á framburði á uppleystum efnum s.s. kísils af landi til strandsjávarins, og þá hugsanlega virkni kísilþörunga í strandsjónum við ós Þjórsár á vorin.



Mynd 36. Reiknaður framburður kísils (SiO_2) Þjórsár við Urriðafoss/Krók á ólíkum tímabilum. Á árunum 1959–1969 var Þjórsá ótrufluð, frá 1970–1977 hafði Bjarnalón og Þórisvatn verið myndað, á árunum 1978–1997 þegar Krókslón, Hrauneyjalón, Kvíslaveitur höfðu verið mynduð og tímabilið 1998–2015 sem lýsir kísilframburði Þjórsár eftir að Hágöngulón var myndað. *Calculated flux of SiO_2 in Þjórsá at Urriðafoss/Krókur in different time periods. The black line describes the flux during 1998–2015, after the construction of Hágöngulón reservoir in 1997.*

Rannsóknir á strandsjó við suðvesturland benda til þess að ferskvatnsafrennsli sé mikilvæg uppspretta á leystum kísil, sem er nauðsynlegt næringarefni fyrir kísilþörunga. Vorblómi kísilþörunga í sjó nemur kísil mjög hratt úr lausn þannig að styrkur hans verður vart mælanlegur í yfirborðslagi sjávarins (Agnes Eydal og Sólveig R. Ólafsdóttir, 2007; Jón Ólafsson o.fl., 2008). Auk þess, sýna þessar rannsóknir að innflæði ferskvatns til sjávar veldur lagskiptingu í strandsjónum sem hefur áhrif á vorkomu í hafinu undan ströndum landsins. Auk áhrifa ferskvatns á þörungavirkni í sjónum benda rannsóknir á nýliðun þorsks til þess að magn ferskvatns í strandsjónum við Vesturland að vorlagi skýri, auk stærðar hrygningarstofnsins,

breytilega nýliðun fremur en aðrir umhverfisþættir (Jón Ólafsson 1985; Begg og Marteinsdóttir, 2002; Jón Ólafsson o.fl., 2008). Ástæðan getur verið aukin lagskipting strandsjávarins og þar með meiri líkur á að hrognin og kviðpokaseiðin haldist í efri lögum sjávar (Jón Ólafsson o.fl., 2008) en einnig fundist hefur marktækt línulegt samband á milli magns svifþörunga suðvestur og vestur af landinu og fjölda nýklaktra þorskseiða (Ólafur S. Ástþórsson o.fl. 1994). Af þessu má álykta að sneyðing vortoppsins af rennsli Þjórsár geti haft áhrif á lífríki undan strönd suðurvestur og vestur af landinu, en þó verður að taka fram að ekki hefur tekist að tengja saman hrygningu þorsks og árgangastærð beint við breytingar á ferskvatnsrennsli.

4.4 Fiskstofnar á Þjórsár–Tungnaáarsvæðinu

Í Þjórsá lifa fimm tegundir fiska, lax, urriði, bleikja, hornsíli og áll. Af þeim eru þrjár tegundir nýttar eða nýtanlegar, lax, urriði og bleikja. Laxastofn Þjórsár er sterkur og er Þjórsá neðan Búrfells gjöful laxveiðiá. Lax gengur upp Þjórsá frá vori fram á haust til hrygninga og mestar eru göngurnar um miðjan júlí (Magnús Jóhannsson o.fl. 2002). Laxinn hrygnir á malarbotni þar sem seiðin klekjast út og dvelja í tvö til þrjú ár áður en þau ná þroska til að ganga til sjávar. Þau ganga til sjávar í maí–júní þegar hámarksvatnshiti árinna hefur náð 6 °C (Manús Jóhannsson o.fl., 2008). Urriðaseiði halda sig á strauminni svæðum og á fíngerðari botni en laxaseiði. Urriðinn er ýmist staðbundinn eða gengur til sjávar, sjóbirtingur. Staðbundinn urriða er helst að finna í Minnivallalæk og í Þjórsá niður af honum en einnig víða í Þjórsá ofan Búða. Göngur sjóbirtings úr sjó hefjast seinna að sumrinu en laxagöngur (Magnús Jóhannsson o.fl. 2002). Bleikja er í mun minna mæli í Þjórsá en lax eða urriði og er helst að finna efst á vatnasviði Neðri Þjórsár, ofan Minnivallalækjar, og svo á vatnasviði Tungnaár (Þórólfur Antonsson og Guðni Guðbergsson, 1990).

4.4.1 Fiskstofnar í Efri Þjórsá og Kvíslavötnum

Á árunum 1980–1985 stóðu yfir framkvæmdir við Kvíslaveitu á vatnasviði Efri Þjórsár þar sem tæru dragavatni á austanverðu hluta vatnasviðsins var safnað saman í nokkur lón, Kvíslavatn (25 km²) og Stóraverslón (2,9 km²) auk smærri lóna, Hreysislón og Eyvindarlón. Meðalrennsli austurkvíslanna er um 10 m³/s. Vatni úr þessum lónum var síðan veitt um Stóraversskurð í Þórisvatn. Árið 1997 var Kvíslaveita stækkuð þegar nyrstu jökulkvíslum Þjórsár, að meðaltali um 29 m³/s ættuðum úr Hofsjökli, var veitt í Þjórsárlón (3,5 km²) og þaðan til Þórisvatns í gegnum eldri Kvíslaveitulónin. Við það varð vatn í eldri Kvíslaveitulónunum jökullitað auk þess sem styrkur svifaurs í Þórisvatni jókst (Guðni Guðbergsson og Ragnhildur Magnúsdóttir, 2001; Guðni Guðbergsson, 2009).

Rannsóknir á lífsskilyrðum fyrir laxfiska á vatnasviði Efri Þjórsár, ofan Sultartangalóns en neðan Norðlingaöldu, fór fram árið 1998. Einkum voru kannaðar ár sem falla til Þjórsár vestan af Gnúpverjafrétti. Svæðið er fisklaust frá náttúrunnar hendi nema neðstu hlutar Skúpstunguáa sem hafa samgang við Sultartangalón (Magnús Jóhannsson og Sigurður Guðjónsson, 1998) auk þess sem hornsíli finnast á svæðinu (Guðni Guðbergsson, 1990; 2009). Í rannsókninni fundust urriðaseiði af sleppiuppruna en nokkuð var um sleppingar í ár og læki á svæðið á þessum árum. Lífsskilyrði eru þokkaleg en ekki líklegt að straumvötnin beri mikið magn fullvaxinna urriða, þar sem smærri árnar eru of vatnslitlar og lítið um hylji.

Árið 1999 var gerð rannsókn á útbreiðslu og lífsskilyrðum fyrir laxfiska í Efri Þjórsá frá Sóleyjarhöfða að fossinum Dynk. Auk hornsílis er urriði eina fisktegundin á svæðinu, en hann barst á svæðið eftir sleppingar í aðliggjandi vötn árið 1981. Allvíða er hentugur botn til hrygningar og uppeldis urriða. Á svæðinu fannst urriði og hornsíli, en í litlum mæli. Uppeldi urriða í Þjórsá virðist einkum vera þar sem bergvatns gætir (Magnús Jóhannsson, 1999).

Á árunum 1980 til 2002 var 574 þúsunda urriðaseiðum sleppt í Kvíslaveitu. Vöxtur urriðans var mikill og fljótlega fór hann að veiðast. Árið 1992 veiddust 7000 fiskar sem vógu um 7 tonn en fljótlega fór að draga úr veiðinni og var hún komin niður í nokkur hundruð fiska eftir 1997 og hefur haldist svipuð síðan (Guðni Guðbergsson, 2009). Þáttaskil urðu í framvindu lífríkisins 1997 þegar jökullituðu vatni úr Þjórsá var veitt til Kvíslavatna, þar sem jökullitað vatn dregur úr gagnsæi vatnsins og þar með ljóstillífun þörunga. Þar með minnkar fæðuframboð fyrir fiska. Árið 2008 var gerð rannsókn á urriðastofnum Kvíslaveitu sem leiddi í ljós að urriði var þar í talsverðum þéttleika og að náttúruleg hrygning, aðallega bundin við skurði tengdum lónunum, stendur undir nýliðun (Guðni Guðbergsson og Sigurður Guðjónsson, 2008; Guðni Guðbergsson og Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir, 2000; 2001). Árið 2008 hafði dregið úr vexti urriðans frá því sem var fyrst eftir að veiturnar voru myndaðar. Fæða urriðans var þá orðin takmarkaðri og fjölbreyttari en fyrst eftir að veiturnar voru myndaðar (Guðni Guðbergsson og Ragnhildur Magnúsdóttir, 2000; Guðni Guðbergsson og Sigurður Guðjónsson, 2008). Rannsókn á svifi í Kvíslaveitum benti til lítils þéttleika og tegundafæðar svifdýra í vatnsmassanum (Guðni Guðbergsson og Ragnhildur Magnúsdóttir, 2001). Hlutfallslega var mest af lifrum árfætla (Copepoda) nema við ósa Svartár þar sem meira var um vatnaflær (Cladocera), en þar var einnig meiri þéttleiki og fjölbreytileiki. Þéttleiki svifdýra jókst með fjarlægð frá innstreymi í Kvíslaveitu, líklegast vegna minnkandi gruggs í vatninu (Guðni Guðbergsson og Ragnhildur Magnúsdóttir, 2001).

Orsökina fyrir hröðum vexti urriðans á fyrstu árum Kvíslarveitu er talin vera aukin útskolun næringarefna um lónbotn á fyrstu árum eftir myndun lóna sem minnkar með aldri þeirra (Hákon Aðalsteinsson, 1989; Guðni Guðbergsson, 2009). Rannsókn sem gerð var í Kvíslavötnum sýndi að á fyrsta ári eftir myndun vatnanna varð vart við aukið magn plöntusvifs í vötnunum vegna aukinnar útskolunar næringarefna úr lónbotni, en það ástand varði um skamma hríð því tveimur árum seinna var magn þess aðeins um 10% af því sem það hafði verið á fyrsta árinu (Hákon Aðalsteinsson, 1989). Rotnandi lífrænar leifar á nýmynduðum lónbotni eru einnig fyrirtaks fæða fyrir bakteríur og sveppi, sem eru svo aftur fæða annarra dýra. Meðan á niðurbroti lífrænna leifa á lónbotni stendur skapast aðstæður fyrir skötuorm (*Lepidurus arcticus*). Skötuormur, sem er stórvaxið krabbadýr sem lifir á botni vatna og lifir mest á lífrænum leyfum, var í miklu magni í Kvíslavötnum fyrst eftir myndun þeirra og var aðalfæða Kvíslavatnaurriðans í upphafi (Guðni Guðbergsson og Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir, 2000). Slíkt gerðist einnig í Blöndulóni (Guðni Guðbergsson og Þórólfur Antonsson 1997c). Nýliðun skötuorma í lónum minnkar með aldri lóna þar sem að fæða fyrir hann verður minni með minnkandi magni lífrænna leyfa af landrænum toga. Einnig er hafa vatnsborðsbreytingar í lónum áhrif á nýliðun skötuorms (Borgstrøm og Hansen, 1987), auk þess sem skötuormurinn er mjög viðkvæmur fyrir afráni af völdum urriða.

4.4.2 Fiskstofnar í Köldukvísl, Tungnaá og virkjunarlónum á vatnasviði þeirra

4.4.2.1 Fiskstofnar í Köldukvísl og Þórisvatni

Þórisvatn liggur á Holtamannafrétti, á milli Tungnaár og Köldukvíslar. Innstreymi til Þórisvatns var um lindir einkum í Austurbotni en útfall var um Þórisós til Köldukvíslar. Vatnið var um 70 km² að stærð og meðaldýpi þess 41 m (Guðni Guðbergsson, 2009). Árið 1972 var Köldukvíslarveita tekin í notkun en þá var Köldukvísl veitt um Sauðafellslón og um skurði til Þórisvatns, sem þá hafði verið stíflað um Þórisós. Síðan þá rennur ekki jökulvatn í farvegi Köldukvíslar neðan Þórisóss fyrr en Þórisvatn er orðið fullt ár hvert, en þá fellur jökullitað vatnið úr því á yfirfalli í farveg Köldukvíslar. Á seinni árum, eftir myndun Hágöngulóns, hefur það verið mjög fátítt (Benóný Jónsson o.fl. 2016). Árið 1998 var Hágöngulón tekið í notkun þar sem Kaldakvísl var stífluð við Syðri-Hágöngur og öllu sumarvatninu safnað til miðlunar áfram til Þórisvatns og áfram til virkjana á veturna.

Farvegur Köldukvíslar er tengdur Þórisvatni sem var þekkt fyrir urriðaveiði fyrir tíma stíflumannvirkja, með aðalhrygningastöðvar í lækjum sem runnu til Austurbotnavatns Þórisvatns. Ekki er ljóst hvort urriði hafi verið til staðar í Þórisvatni og Köldukvísl ofan Nefja áður en hann var sannarlega fluttur þangað úr Veiðivötnum 1950 (Árni Óla, 1951). Eins er óvíst hvort bleikja hafi verið í neðanverðri Tungnaá áður en bleikju var sleppt ofar á vatnasvæðið á sjötta áratug 20. aldar. Ýmsar vangaveltur hafa verið um þau mál og verður ekki leitast við að skýra nánar í þessari skýrslu. Bleikja finnst ekki í Köldukvísl ofan Nefja eða í Þórisvatni (Guðni Guðbergsson og Þórólfur Antonsson 1997a). Urriða var viðhaldið í Þórisvatni til ársins 2000 með seiðasleppingum, þar sem hrygningarstöðvar í lækjum sem runnu til Austurbotnavatns eyðilögðust er þær kaffærðust við stækkun Þórisvatns. Skortur á hrygningarstöðvum hamlar náttúrulegri framvindu urriðastofnis í Þórisvatni en náttúruleg hrygning virðist þó hafa heppnast einstaka ár og hafa líkur verið leiddar að því að það hafi verið í árum þar sem fullri vatnshæð í Þórisvatni hefur ekki verið náð og lækir í Austurbotni hafi fallið til vatnsins og nýst urriða til hrygningar (Guðni Guðbergsson, 1999). Urriði barst úr Kvíslaveitum í Þórisvatn eftir að vatnatilflutningar hófust. Nokkur veiði er á urriða í Þórisvatni. Mest hefur verið veitt í Austurbotni þar sem rýni vatnsins er að jafnaði betra framan af ári sökum minni áhrifa frá jökulvatni en eftir að Hágöngulón var myndað minnkaði jökulgrugg í Þórisvatni og eftir það hefur borið á aukinni veiði utan Austurbotns. Árið 2015 var skráð stangveiði 268 urriðar í Þórisvatni (Guðni Guðbergsson, 2016) en veiði hefur minnkað á síðustu árum samkvæmt veiðitölum (Guðni Guðbergsson, Skýrslur VMST um lax- og silungsveiði á árunum 2000 til 2015).

Á árunum 1988–1989 og 1997 fóru fram rannsóknir á lífríki Köldukvíslar (Magnús Jóhannsson, 1989; 1990; Guðni Guðbergsson og Þórólfur Antonsson, 1997a; Magnús Jóhannsson og Guðni Guðbergsson, 1999). Rannsóknin frá árunum 1988 og 1989 á lífríki Köldukvíslar var gerð á svæðinu á milli ármóta Köldukvíslar og Tungnaár, upp að Kvifshagavallakvísl, rétt ofan fossins Nefja. Í þeirri rannsókn veiddust eingöngu bleikjuseiði. Urriðaseiði sem sleppt var sumarið 1988 veiddust í rannsókninni sem gerð var 1989 og virtist vöxtur þeirra þokkalegur, þó ekki eins mikill og í Veiðivötnum (Magnús Jóhannsson, 1990). Samkeppni við önnur seiði og vatnshiti virtist hafa mest áhrif á vaxtarskilyrði sleppiseiðanna. Minna veiddist af bleikjuseiðum í rannsókninni 1989 en árið áður. Bestu uppeldisskilyrðin á þessum slóðum eru frá fossinum Nefja niður að

ármótum við Tjaldakvísl, um 10 km neðar. Rannsóknin frá árinu 1997 á lífsskilyrðum og útbreiðslu fiska í Köldukvísl beindist að Köldukvísl ofan fossins Nefja, (Guðni Guðbergsson og Þórólfur Antonsson, 1997a) sem er ofan svæðisins sem rannsakað var 1988–1989 (Magnús Jóhannsson, 1990). Veitt var við vöð á Klifshagakvísl og Grjótakvísl en of mikið vatn var í Köldukvísl sjálfri til rafveiða. Ekki varð vart við fisk í kvíslunum þegar rannsóknin var gerð, þrátt fyrir að 1000 urriðaseiðum hafi verið sleppt í Klifshagakvísl sumarið 1988. Myndun Sporðöldulóns árið 2013, tók fyrir fiskgengd á milli Tungnaár og Köldukvíslar neðan Nefja (Benóný Jónsson o.fl. 2016).

Árið 1996 var gerð rannsókn á urriða í Þórisvatni, Köldukvísl og hliðarkvíslum hennar ofan Nefja (Guðni Guðbergsson og Þórólfur Antonsson, 1997b). Lífríki Þórisvatns mótast mjög af því að það er miðlunarlón virkjana og vatn þar er að hluta til jökulættað með tilheyrandi gruggi. Munur hæsta og lægsta vatnsborðs er um 19 m (Landsvirkjun, 2017b). Rannsóknin var gerð fyrir tilkomu Hágöngulóns og niðurstöður hennar bentu til að þar væri takmörkuð uppeldisskilyrði fyrir urriða og aðstæður þar muni heldur henta bleikju. Þó er tekið fram í skýrslunni að það væri afar óheppilegt ef bleikja bærist þangað þar sem það myndi hafa afdrifaríkar afleiðingar a.m.k. fyrir urriðastofninn í Þórisvatni (Guðni Guðbergsson og Þórólfur Antonsson, 1997a). Eftir tilkomu Hágöngulóns hefur rýni aukist í Þórisvatni en eftir sem áður er lítil sem engin náttúruleg nýliðun í Þórisvatni og er urriðastofninn í Þórisvatni því alfarið háður sleppingum seiða.

Árið 1999 var gerð rannsókn á lífsskilyrðum í Hágöngulóni og Köldukvísl (Magnús Jóhannsson og Guðni Guðbergsson, 1999). Urriðar fundust í Hágöngulóni og voru þeir taldir af sleppiuppruna. Rannsóknin gaf til kynna að skilyrði fyrir framleiðslu urriða þar væru rýr og hæpið að það geti staðið undir veiði. Í Köldukvísl ofan Sauðafellslóns virtust vera til staðar einhver uppeldisskilyrði fyrir urriða, en ekki varð vart við urriða á þeim slóðum þegar rannsóknin var gerð. Eini staðurinn sem skilyrðin virtust þökkaleg og rannsóknarveiði var ágæt var neðan Sauðafellslóns. Í Köldukvísl, neðan við fossinn Nefja, veiddist einungis bleikja í rannsókninni 1999, þó þar hafði urriðaseiðum verið sleppt 1989 (Magnús Jóhannsson, 1990).

4.4.2.2 Fiskstofnar í Tungnaá, Krókslóni, Hrauneyjalóni, Sporðöldulóni og Sultartangalóni

Tungnaá fellur frá Tungnaárjökli í Vatnajökli um sendnar áreyrar og fellur fyrst í Krókslón, þaðan í Hrauneyjalón og Sporðöldulón og endar í Sultartangalóni. Fyrir myndun Hágöngulóns olli vatnsmiðlun 6–7 m vatnsborðsbreytingum (Landsvirkjun, 2017a). Eftir myndun Hágöngulóns er vatnsmiðlun meiri ofar á svæðinu og vatnsborðsbreytingar minni í lónunum og eftir árið 2005 hefur miðlunin verið 0,5–1,5 m (Landsvirkjun, 2017a). Sumarið 2009 var Krókslón nánast tæmt vegna viðgerðar á leka og þá lækkaði vatnsborð um 20 m. Má telja líklegt að svoleiðis aðgerðir hafi verulega neikvæð áhrif á lífríki lónsins.

Styrkur svifaura í lónunum á Tungnaásvæðinu er mismikill, eftir viðstöðutíma vatnsins í lónum. Innstreymi vatns til Sultartangalóns er frá Þjórsá og Tungnaá/Köldukvísl um Sporðöldulón. Vatn úr Tungnaá/Köldukvísl hefur haft viðstöðu í Krókslóni, Hrauneyjalóni og Sporðöldulóni áður en það fellur í Sultartangalón. Því er styrkur svifaura minni í innstreymi Tungnaár/Köldukvíslar í Sultartangalón en þar sem Þjórsá fellur inn í Sultartangalóns. Því fylgir að rýni er meira

Tungnaár/Köldukvíslar-megin heldur en Þjórsármegin í Sultartangalóni (Guðni Guðbergsson og Ragnhildur Magnúsdóttir, 2000).

Bleikja barst fyrst á Tungnaáarsvæðið á sjöunda áratugnum af mannavöldum og er hún nú ríkjandi fisktegund í Krókslóni, Hrauneyjalóni og Sultartangalóni, en eitthvað var þar af urriða fyrir (Guðni Guðbergsson og Magnús Jóhannsson, 1999). Þórólfur Antonsson og Guðni Guðbergsson (1990) gerðu rannsókn á ástandi fiskstofna í lónunum þremur og þá var hvort tveggja bleikja og urriði að finna í þeim. Bleikjan var í meira mæli en urriði, og hún var einnig í betri holdum. Aðalfæða bleikju og urriða í Krókslóni voru rykmýspúpur og -lirfur ásamt smáum krabbadýrum. Í Hrauneyjalóni var aðalfæða urriðans rykmýs- og vorflugulirfur en bleikjan nærðist á skötuormi ásamt rykmýslirfum og -púpum. Í Sultartangalóni var aðalfæða bleikjunnar rykmýslirfur og púpur en lítil sem engin fæða var í þeim fáu urriðum sem þar veiddust. Í Sultartangalóni var vöxtur eldri bleikja hraðari á fyrri hluta líftímans en hjá þeim árgöngum sem á eftir komu.

Rannsóknin frá árinu 2000 á ástandi fiskstofna í Sultartangalóni (Guðni Guðbergsson og Ragnhildur Magnúsdóttir, 2000) leiddi í ljós fækkun á bleikju miðað við árið 1990 en aukningu á urriða. Ástand fiska var svipað og þá, flestir fiskar smáir og einungis fáir stórir einstaklingar veiddust. Holdastuðull urriðans var nokkru hærri en bleikju en aðalfæða beggja tegunda voru, árið 2000, rykmýslirfur og -púpur, ásamt svifkröbbum, hornsílum, skötuormum og bjöllum. Árið 2010 var tíundi hver silungur í Sultartangalóni bleikja (Benóný Jónsson o.fl., 2011), ólíkt því sem rannsókn frá árinu 2016 á lífríki í Sultartangalóni (Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir o.fl. 2017) leiddi í ljós en þá virtist sem urriði eigi nú erfitt uppdráttar í Sultartangalóni. Árið 2016 einkenndust fiskstofnar lónsins af smávaxinni bleikju sem nærðust aðallega á skötuormi, sem ekki hafði sést í Sultartangalóni áður.

Í rannsókn sem gerð var í Hrauneyjalóni árið 2011 (Benóný Jónsson, 2011) kom í ljós að minna var af bleikju en í fyrri rannsókn (Þórólfur Antonsson og Guðni Guðbergsson, 1990) og ekkert veiddist af urriða. Einnig var holdastuðull bleikjunnar lægri. Árið 1990 var skötuormur ein aðalfæða bleikjunnar en árið 2011 var skötuormur horfinn úr fæðunni, og aðalfæðan var af allt öðrum toga en fyrr, svifkrabbar, vorflugulirfur og skelkrabbar. Vöxtur bleikjunnar árið 2011 var hægari en 1990, og voru tveggja ára bleikjur álíka stórar og eins árs bleikjur áður.

Ástæðu hnignandi ástands fiskstofna frá árinu 1990 til 2011 í Sultartangalóni og Hrauneyjalóni má að öllum líkindum rekja til vaxandi aldurs lónanna. Útskolun næringarefna úr lónbotni er mest á fyrstu árum eftir að lónið er myndað, sem veldur aukinni þörungavirkni í lóninu og þar af leiðandi auknu fæðuframboði fyrir fiska. Með tímanum minnkar útskolun næringarefna og þörungavirknin og fæðuframboðið minnkar. Eins geta skapast aðstæður fyrir skötuorm, sem var ein aðalfæða fiska í Hrauneyjalóni og Sultartangalóni árið 1990, þegar vatn fer yfir gróið land og niðurbrot lífrænna leifa hefst (t.d. Guðni Guðbergsson, 2009). Með aldri lónanna minnkar niðurbrot lífrænna leifa á lónbotni og þar með fækkar skötuormi og fæðumöguleikum fiska fækkar.

Útfall Sultartangavirkjunar er leitt í skurði að Bjarnalóni samsíða farvegi Þjórsár en til að ná sem mestu út úr virkjuninni er botn skurðarins mun lægri en farvegurinn. Farvegur Þjórsár neðan Sultartanga (vatnshlot 103-777-R) er fyrir vikið nánast þurr stóran hluta ársins (Mynd 18 og

Mynd 20). Rennsli fer úr því að vera minna en 1 m³/s í 500 m³/s og eru rennslistopparnir mjög óreglulegir (Mynd 18). Þarna á milli Sultartangavirkjunar og Bjarnalóns er farvegur Þjórásar um 200 m breiður og flatbotna, sem þýðir að einungis þarf lítið rennsli vatns um farveginn til að auka mikið möguleika á lífrænni framleiðni á þessum kafla árinna. Sama má segja um efri hluta kaflans neðan Ísakots með Búrfelli (Benóný Jónsson og Magnús Jóhannsson, 2012). En til að viðhalda rennsli í þessum farvegum þyrfti að hleypa vatni framhjá Sultartangavirkjun sem myndi þá ekki nýtast við rafmagnsframleiðslu í Sultartangavirkjun.

Sporðöldulón var myndað í nóvember 2013 og í mars 2014 var Búðarhálsvirkjun tekin í notkun. Lónið er um 7 km² og er myndað í farvegi Köldukvíslar ofan við ármót Tungnaár og er vatni Köldukvíslar og affallsvatni Hrauneyjafossvirkjunar veitt um göng til Búðarhálsstöðvar með frárennsli í Sultartangalón. Áður en lónið var myndað fóru fram rannsóknir á fari bleikju og urriða í Köldukvísl, Tungnaá og Sultartangalóni sem leiddu í ljós að talsverður samgangur hafi verið á milli bleikju í Köldukvísl og Tungnaár, en tiltölulega lítill milli bleikju í Sultartangalóni og Köldukvísl um Tungnaá. Myndun Sporðöldulóns tók fyrir göngur fiska á milli Tungnaár og Köldukvíslar en einnig eyðilögðust mikilvægar hrygningarstöðvar silungs og uppeldissvæði seiða (Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson, 2009; Benóný Jónsson, 2013). Til að viðhalda fiskgengi og tryggja vistrennsli um farveg Tungnaár eftir myndun Sporðöldulóns var linda- og lekavatni neðan Hrauneyjalóns veitt áfram til Tungnaár (Benóný Jónsson, 2013).

Rannsókn á áhrifum Sporðöldulóns á lífríki (Benóný Jónsson o.fl. 2016) og efnabúskap (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2016) hefur staðið yfir frá myndun lónsins. Helstu niðurstöður á mælingum á lífríki eru að magn blaðgrænu og svifdýra var lítið, en þó meira árið 2014 en 2015. Þéttleiki botndýra var mun hærri árið 2015 en 2014 og voru rykmýslirfur yfir 90% allra botndýra í Sporðöldulóni árið 2015. Magn blaðgrænu og tegundasamsetning rykmýs er einkennandi fyrir ólígótrópísk vötn (*oligotrophic*, sem hefur oft verið þýtt sem næringarefnasauð vötn). Samkvæmt almennri skilgreiningu er vöxtur frumframleiðenda í ólígótrópískum vötnum lítill sökum lítils styrks næringarefna í vatninu. Flokkunin er hins vegar byggð á styrk fosfórs og blaðgrænu í vatninu sem og rýni, sem ræður oft úrslitum um hvort ljóstíllífur er möguleg í vötnunum. Styrkur fosfórs í jökulvatni er hár í samanburði við önnur vötn og er því ekki takmarkandi fyrir ljóstíllífur (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2016; 2016b). Rýni er hins vegar oft mjög lítið í jökulskotnum vötnum og takmarkar ljóstíllífur og upptöku næringarefna. Sökum þess geta jökulskotin vötn því flokkast sem ólígótrópísk þótt þau séu ekki næringarefnasauð.

Rannsókn var gerð á efnabúskap Sporðöldulóns 2013–2016 til að meta hugsanleg áhrif Búðarhálsvirkjunar á efnastyrk vatnsins (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2016). Myndun lóna getur valdið losun efna úr lónastæðinu sem fara í upplausn og berast fram með vatnsföllunum. Losunin verður því meiri eftir því sem jarðvegurinn í lónastæðinu er lífrænni. Samanburður á efnasamsetningu vatns sem féll í Sporðöldulón og vatni í útfalli lónsins leiddi í ljós að lítill sem enginn munur var á vatni eftir dvöl þess í Sporðöldulóni. Það bendir til þess að lítið af efnum skili sér úr botni lónsins í lausn í vatnsbolnum. Það er því ekkert sem bendir til þess að myndun Sporðöldulóns hafi haft í för með sér aukningu á næringarefnum eins og þekkt er að geti gerst við lónamyndun (sjá t.d. umfjöllun í Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2016).

Í rafveiðum í Köldukvísl ofan við ós Tjaldkvíslar veiddust sumargömul bleikjuseiði og eins- til þriggja ára urriðaseiði. Þéttleiki bleikjuseiða bendir til þess að bleikja sé að auka útbreiðslu sína í Köldukvísl en þéttleikinn var meiri árið 2015 en 2014, öfugt við þéttleika urriðaseiða. Árið 2015 var vöxtur seiðanna betri í Tungnaá en í Köldukvísl. Fyrir myndun Sporðöldulóns hélt bleikjan sig í neðri hluta Köldukvíslar en urriði var ríkjandi ofan ármóta við Tjaldkvísl. Haustið 2015, eftir myndun Sporðöldulóns, virðist bleikjan vera farin að leita upp eftir Köldukvísl, allt upp undir Nefja, til hrygningar. Staðsetning útvarpsmerktra bleikja í grennd við útfall Sporðöldulóns bendir þó til að hluti bleikjustofnsins leiti á sínar gömlu hrygningarstöðvar í Tungnaá neðan Sporðöldulóns. Eftir virkjun virðist bleikjustofninn í Sporðöldulóni vera að sækja í sig veðrið og hafa gnægð fæðu því árið 2015 veiddust 87 bleikjur og 7 urriðar í Sporðöldulóni, í samanburði við 3 bleikjur árið 2014. Bráðabirgðaniðurstöður fiskrannsóknna frá sumrinu 2016 sýna svipað ástand og sumarið 2015 (Benóný Jónsson og Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir, í vinnslu). Fjölgun fiska í Sporðöldulóni 2015 og 2016 er í takt við þekkt dæmi úr nýmynduðum lónum s.s. í Kvíslaveitum og Blöndulóni þar sem fjöldi fiska var mikill og holdarfar gott á fyrstu árum lónanna en fækkaði svo með tímanum (Guðni Guðbergsson, 2009). Ástæðan fyrir þessu mynstri er talin vera skolun næringarefna úr lónbotni og aukin fæða fyrir botnlægar grotætur sem lifa á rotnandi leifum gróðurs og jarðvegs sem fer undir vatn. Aðalfæða bleikjunnar í Sporðöldulóni árið 2015 voru rykmýslirfur (60%) og skötuormar (20%) en aðalfæða urriðans voru skötuormar (60%) og tvívængjur (15%). Mjög lítið var af svifkröbbum í fæðu urriðans, sem kemur heim og saman við fæð svifkrabba í Sporðöldulóni.

4.4.2.3 Mat á ástandi lífríkis Köldukvíslar, Tungnaár og virkjunarlóna

Stöðuvötnum hefur verið skipt upp í níu flokka út frá gerðareiginleikum og hafa upplýsingar um laxfiska í stöðuvötnum verið teknar saman (Friðþjófur Árnason, 2014). Þær upplýsingar er hægt að nota til að gera fyrsta mat á vistfræðilegu ástandi lóna á vatnasviðum Tungnaár og Köldukvíslar.

Rannsóknir á virkjunarlónum á Þjórsár–Tungnaárvæðinu eru stopular en þær gefa samt upplýsingar um ástand bleikju og urriða í lónunum á þeim tíma sem rannsóknir voru gerðar. Einn af þeim þáttum sem hægt er að nota til að meta vistfræðilegt ástand stöðuvatna er stærð bleikju og urriða. Einnig hefur veiði á sóknareiningu úr rannsóknarveiðum verið notuð til að meta stofnstærð fiska í stöðuvötnum. Friðþjófur Árnason (2014) tók saman upplýsingar úr um 70 stöðuvötnum og flokkaði eftir gerðareiginleikum. Einn af flokkunum eru jökulskotin vötn, en í þeim flokki eru aðeins þrjú stöðuvötn; Folavatn, Hvítárvatn og Lagarfljót. Meðallengdir 2⁺ og 3⁺ bleikju í jökulskotnum vötnum er lág, 13 og 14 cm og ekki ósvipuð meðallengd grunnra hálendisvatna (Friðþjófur Árnason, 2014). Meðalveiði á sóknareiningu í jökulskotnum viðmiðunarvötnum er 3,3 fiskar í hvert net (1. og 3. fjórðungsmark voru 0 og 17,1 fiskur/net). Lítið veiddist af urriða í viðmiðunarvötnunum en þær upplýsingar sem til eru sýndu að spönnin frá fyrsta til þriðja fjórðungsmarks var frá 0 upp í 3,3 urriða/net (Friðþjófur Árnason, 2014).

Lengdardreifing bleikju og urriða: Meðallengd 2⁺ og 3⁺ bleikju í lónum á vatnasviði Þjórsár–Tungnaár er meiri en meðallengd bleikju í jökulskotnum viðmiðunarvatnshlotum (Friðþjófur Árnason, 2014). Árið 1990 var meðallengd 2⁺ og 3⁺ bleikju 19,1 og 25,1 cm í Krókslóni, 20,2 cm og 26,4 cm í Hrauneyjalóni og 14,7 og 16,8 cm í Sultartangalóni (Þórólfur Antonsson o.fl. 1991).

Árið 2011 var meðallengd 2⁺ og 3⁺ bleikju 14,2 og 16,4 cm í Hrauneyjalóni og hafði minnkað um 6–10 cm frá því 1990. Meðallengd 2⁺ og 3⁺ bleikju í Sultartangalóni hefur verið tiltölulega stöðug og meiri en í viðmiðunarsvæðinu, 15–18 cm og 17–22 cm frá 1990 til 2010 (Þórólfur Antonsson og Guðni Guðbergsson, 1991; Guðni Guðbergsson o.fl., 2000; Benóný Jónsson o.fl., 2011). Í Sporðöldulóni veiddust aðeins 2⁺ bleikjur árið 2014 sem allar voru um 20 cm en árið eftir var meðallengd 2⁺ og 3⁺ bleikju 14,9 og 17,5 cm (Benóný Jónsson o.fl., 2016).

Í Þórisvatni er einungis urriði. Í viðmiðunarsvæðinu er meðallengd 3⁺ og 4⁺ urriða í jökulskotnum viðmiðunarsvæðinu 14,5 og 21,5 cm (Friðþjófur Árnason, 2014). Meðallengd 3⁺ urriða var 21,5 í Þórisvatni árið 1996 (Guðni Guðbergsson og Þórólfur Antonsson, 1997b) og meðallengd 3⁺ og 4⁺ urriða 24 og 28 cm árið 2008 (Guðni Guðbergsson og Sigurður Guðjónsson, 2008). Hafa ber í huga að urriðinn í Þórisvatni er nær allur af sleppiuppruna sem gefur seiðum vaxtarforskot á náttúruklakin seiði. Urriði veiðist einnig í Kvíslavötnum og mælist hann einnig stærri eða jafnstór og urriði í viðmiðunarsvæðinu. Þó hefur dregið úr vexti urriða í Kvíslaveitum frá því lónin voru mynduð (Guðni Guðbergsson og Ragnhildur Magnúsdóttir, 2001). Hluti af skýringunni liggur líklega í því að seiðin voru af sleppiuppruna og höfðu þar með forskot á seiði af náttúrulegum uppruna, en einnig er fæðuframboð í nýmynduðum lónum mikið miðað við í eldri lónum (Guðni Guðbergsson, 2009).

Meðalveiði á sóknareiningu: Meðalveiði á sóknareiningu í jökulskotnum viðmiðunarsvæðinu er 3,3 bleikjur í hvert net og 0–3,3 urriðar/net (Friðþjófur Árnason, 2014). Árið 1990 var meðalveiði á sóknareiningu í Krókslóni, Hrauneyjalóni og Sultartangalóni mun hærri en í viðmiðunarsvæðinu, eða 11–18,5 bleikjur/net og 0,3–2 urriðar/net. Undanfarin ár hefur veiði minnkað í lónunum og hefur verið 0,3–8 bleikjur og 0–0,8 urriðar per net frá árinu 2000 (Þórólfur Antonsson o.fl., 1991; Guðni Guðbergsson og Ragnhildur Magnúsdóttir, 2000; Benóný Jónsson o.fl., 2011; Benóný Jónsson, 2011).

Meðalveiði urriða á sóknareiningu í Kvíslaveitulónunum hefur verið jafnari en í lónunum á Tungnaár–Köldukvíslarsvæðinu. Gögn eru til úr rannsóknarveiðum úr Kvíslavatni, Kvíslaveitu, Stóraverslóni (Dratthalavatni) og Svartárlóni. Árið 1989 var meðalveiði frá 5,8 til 9,5 urriðar/net, árið 2000 var hún 0,64 til 11,2 urriðar/net og árið 2008 var meðalveiðin 1,9 til 11,5 urriðar/net.

Meðalveiði urriða á sóknareiningu hefur minnkað mikið frá 1974 til 2008 í Þórisvatni, úr 1–9 fiskum/net í um 0,5 fiska/net. Urriðastofni Þórisvatns hefur verið viðhaldið með sleppingum. Lítið hefur verið sleppt af seiðum í Þórisvatn eftir árið 2002 og þar sem hrygningastöðvar eyðilögðust við stækkun Þórisvatns, hefur stofnstærð urriðans í Þórisvatni minnkað (Guðni Guðbergsson og Sigurður Guðjónsson, 2008).

Samantekt: Bleikja og urriði í lónum á vatnasviði Þjórsár–Tungnaár eru yfirleitt stærri miðað við aldur en í viðmiðunarsvæðinu, og frekar í átt við það sem er í stöðuvatnshlotum á eldra bergi á láglendi (gerðir 5 og 6) (Friðþjófur Árnason, 2014). Þó hefur dregið úr stærð fiska í lónunum með hækkandi aldri lóna, en stærð þeirra er samt um og yfir meðalstærð fiska í jökulskotnum svæðinu (gerð 9) og í svæðinu á hálendi (gerðir 7 og 8) (Friðþjófur Árnason, 2014).

Meðalveiði á sóknareiningu bendir til þess að urriði eigi erfitt uppdráttar í Hrauneyjalóni, Krókslóni, Sultartangalóni og Þórisvatni, líklega sökum þess að lítið er um hentugar

hrygningaraðstæður fyrir hann. Bleikja á auðveldara með hrygningu í lónunum þar sem hún getur hrygnt í kyrru vatni, ólíkt urriðanum. Þá er hún sennilega betur aðlagðri en urriði að sjá bráð í jökulskotnu vatni. Bleikja er algengari en urriði í Hrauneyjalóni, Krókslóni og Sultartangelóni en finnst ekki í Þórisvatni. Meðalveiði á sóknareiningu hefur minnkað í þessum lónum með tíma, á meðan hún hefur verið jafnari í lónum Kvíslaveitu líklega þar sem nóg er um hrygningarstöðvar fyrir urriða í og við skurði Kvíslaveitu.

4.4.3 Fiskstofnar í Neðri Þjórsá

Veiðmálastofnun hefur stundað fiskrannsóknir á vatnssvæði Þjórsár frá árinu 1993. Árlega hafa verið gerðar seiðarannsóknir og hefur sjónum helst verið beint að landnámi laxa ofan við fiskstiga við Búða sem gerður var árið 1991. Frá árinu 2001 hafa verið gerðar viðamiklar rannsóknir á lífríki Þjórsár vegna fyrirhugaðra virkjana í Þjórsá neðan Búfells með áherslu á að auka þekkingu á göngu laxfiska í og úr sjó sem nýta má til að meta áhrif á útfærslum virkjana og mótvægisáðgerða til verndar göngufiski. Í samantektarskýrslu Veiðimálastofnunar frá árinu 2014 er gerð grein fyrir helstu niðurstöðum þessara rannsókna (Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson, 2014).

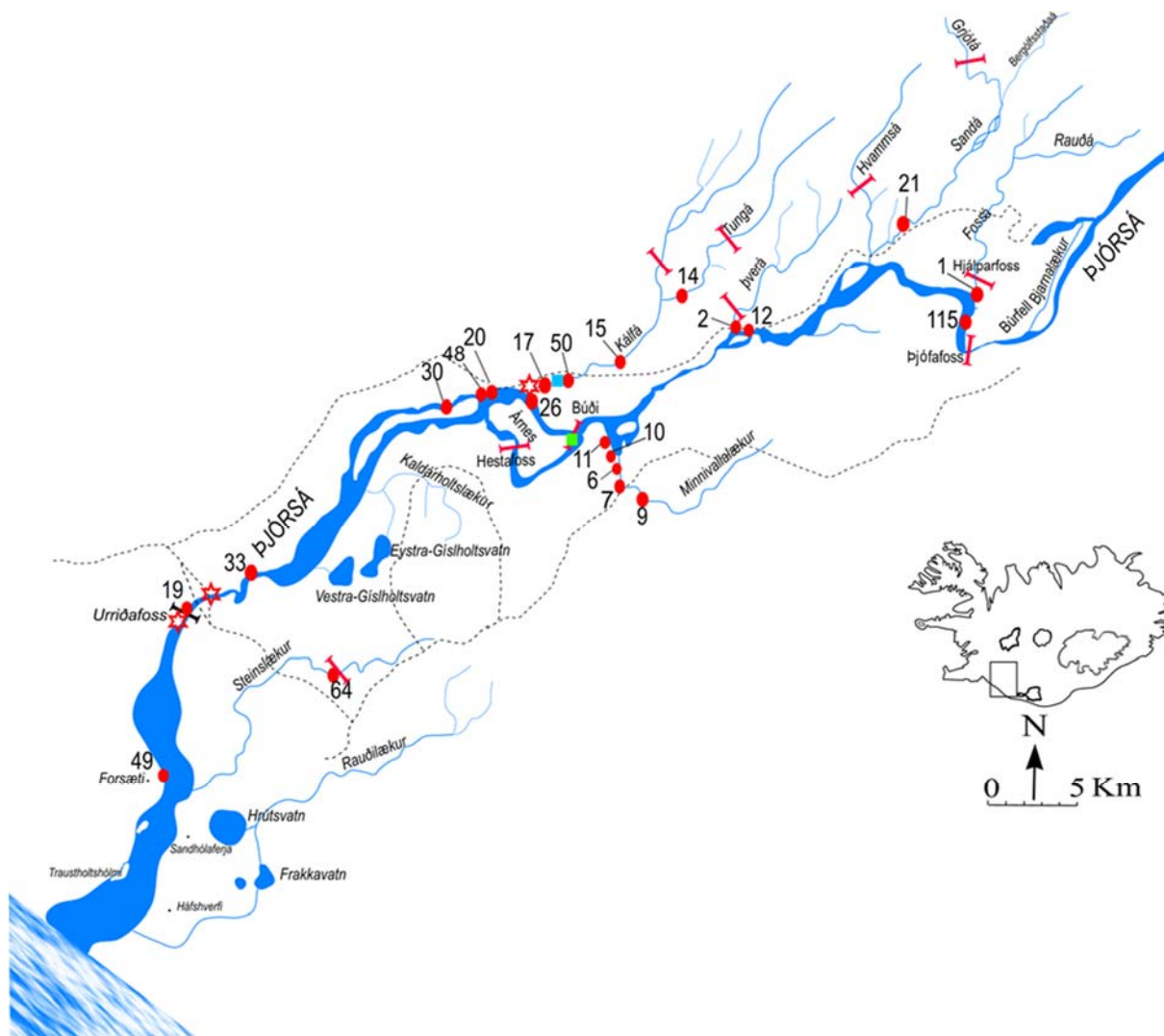
Laxgengd á vatnasviði Þjórsár hefur farið vaxandi í kjölfar seiðasleppinga og framkvæmda við fiskstiga við Búða sem lokið var við árið 1991. Þar er nú að finna einn af stærri laxastofnum landsins sem fer stöðugt vaxandi. Athugun á uppruna laxa á vatnasvæði Þjórsár á árabílinu 2008–2012 sýndi að 3,5% þeirra væru upprunnir úr gönguseiðasleppingum, sem staðfestir að aukin laxgengd á vatnasvæði Þjórsár byggist á náttúrulegri fiskframleiðslu (Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson, 2014). Þó þarf að hafa það í huga að tilkoma fiskstigans við Búða hefur stækkað aðgengileg búsvæðis laxa og seiðasleppingar á svæðið hraðað landnámi laxa þar. Þannig að virkjun á vatnasviði Þjórsár, með tilheyrandi rennslisjöfnun og minnkun svifaurs, er því ekki eini áhrifavaldurinn á stofnstærð lax á vatnasviði Þjórsár. Miðað við fjölgun veiddra laxa í Neðri Þjórsá á síðustu árum (Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson, 2014) er líklegra að stækkun búsvæðis með tilkomu fiskstigans við Búða hafi haft meiri áhrif á laxastofninn en virkjanir og rennslisjöfnun á svæðinu.

Þéttleiki laxaseiða hefur vaxið jafnt og þétt á síðustu árum í Þjórsá og þverám hennar ofan við Búða í samræmi við aukna laxgengd á svæðið með tilkomu fiskvegarins við Búða. Aftur á móti hefur þéttleiki urriðaseiða heldur minnkað á sama tíma líklega vegna þess að þessar tegundir eru í samkeppni um búsvæði. Göngur laxaseiða eru háðar vatnshita og virðast gönguseiði úr Kálfá vera á ferðinni frá miðjum maí fram í miðjan júní en eitthvað seinna í Þjórsá. Almennu hefjast seiðagöngur þegar vatnshiti hefur náð um 10°C en Þjórsárseiðin virðast byrja að ganga við lægri vatnshita en almennt gerist hér á landi. Vatnshiti ásamt seiðapéttleika eru einar af aðalbreytunum þegar kemur að vaxtarhraða og seiðagöngualdri. Vöxtur seiða eykst með hækkun vatnshita sem veldur því að seiði ganga fyrr til sjávar á lífsferlinum (McCormic o.fl. 1998; Þórólfur Antonsson og Sigurður Guðjónsson, 2002; Otero J. o.fl. 2014). Nýleg rannsókn á áhrifum hitastigs á urriða á Íslandi bendir til þess að hækkandi vatnshiti auki möguleika urriða til fæðuöflunar sem við það kemst hærra í fæðukeðjuna (O’Gorman o.fl., 2016) og hefur þá áhrif á vaxtarskilyrði þeirra.

4.5.3.1 Mat á vistfræðilegu ástandi Neðri Þjórsár

Þéttleiki 0^+ , 1^+ , 2^+ og 3^+ laxa- og silungaseiða hefur verið notaður til að meta ástand lífríkis í straumvötnum í Noregi í tengslum við Vatnatilskipun Evrópusambandsins (Bergan, 2011). Í kafla 3.2 í þessari skýrslu er fjallað um fyrstu drög að mati á lífríki í íslenskum ám með því að nota fiskrannsóknir á sambærilegan hátt og gert hefur verið í Noregi (Þórólfur Antonsson o.fl. 2014). Þéttleiki 0^+ seiða segir til um hrygningarmöguleika fiskanna og árangur hrygningar en þéttleiki eldri seiðanna segir til um uppeldisskilyrðin í ánni.

Þéttleiki laxa- og urriðaseiða í Þjórsá og þverám hennar neðan Búða hefur verið vaktaður á níu stöðvum frá árinu 2000 til 2015. Aldurssamsetning seiðanna gefur upplýsingar um hvaða hlutar ána eru mikilvægastu hrygningastöðvarnar og hvaða stöðvar eru mikilvægustu uppeldisstöðvarnar. Mesti þéttleiki 0^+ laxaseiða var 20–72 seiði á 100 m^2 á stöðvum 15, 17, og 50 í Kálfá og 48 Þjórsá, sem er litlu neðan við ármótin við Kálfá (Mynd 37). Stærri (og eldri) seiðin halda sig meira í Þjórsá sjálfri og er þéttleiki 1^+ seiða mestur á stöðvum 19, 20, og 33 í Þjórsá og á stöð 50 í Kálfá. Þéttleiki 2^+ seiða er mestur á stöð 19 í Þjórsá við Urriðafoss og stöð 33 sem er litlu ofar (Mynd 37).

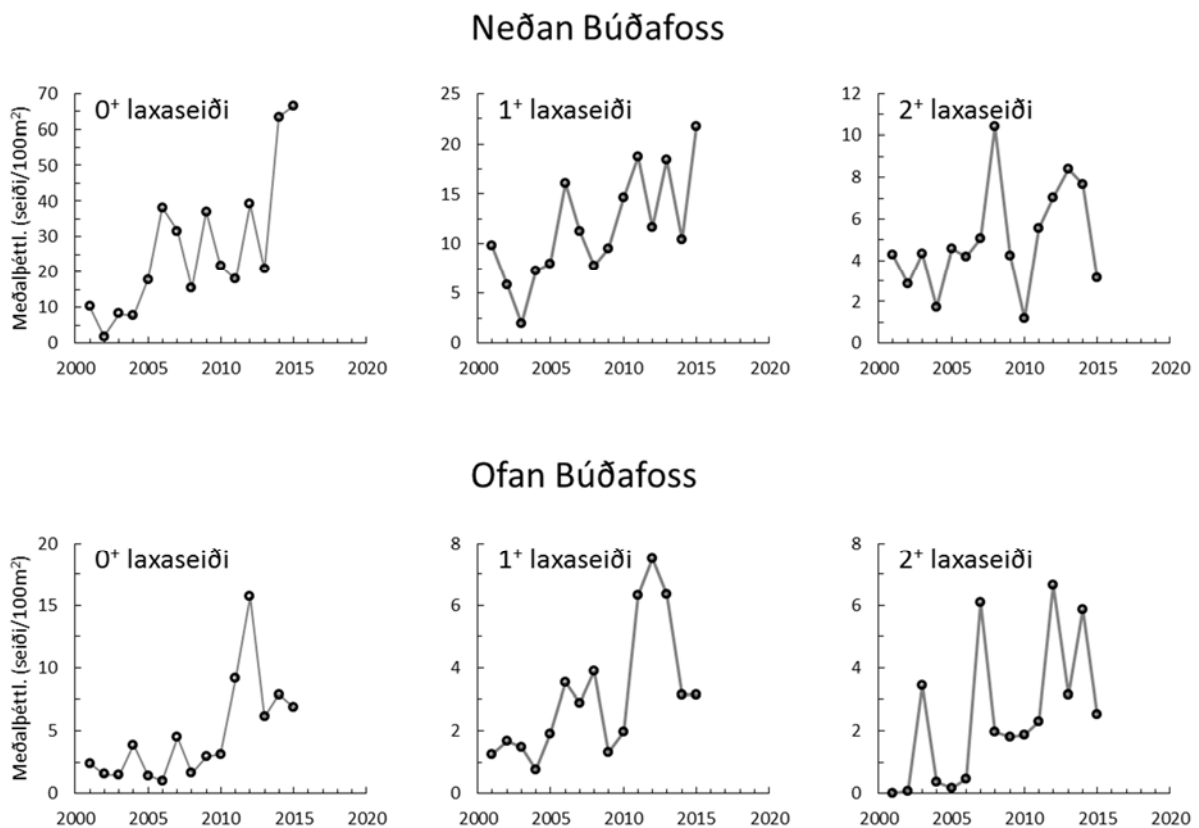


Mynd 37. Yfirlitsmynd yfir staðsetningu rafveiðistöðvar í Þjórsá og þverám hennar vegna vöktunar á seiðabúskap (rauðir punktar). Myndin sýnir einnig staðsetningu fiskteljara við Búða (grænn ferningur), rauð strik þvert á farvegi

tákna ófiskgenga fossa. *Overview of the location of the electric fishing stations in Þjorsá river and tributaries fyrir the monitoring of juvenile density.*

Þéttleiki laxaseiða í Þjorsá og hliðarám hennar hefur vaxið ofan Búða á árunum 2001–2015 í kjölfar aukins búsvæðis eftir gerð fiskvegarins við Búða. Aukning hefur einnig orðið neðan Búða, en þéttleiki laxaseiða er enn meiri neðan við Búða (Mynd 38, Tafla 13). Seiðapétteleiki er töluvert breytilegur eftir árum eins og sést á Mynd 38.

Eins og fjallað var um í kafla 3.1 eru margir líffræðilegir gæðapættir viðkvæmir fyrir áhrifum sem verða oft í kjölfar rennslisbreytinga af mannavöldum, t.d. seiðasleppingum, stangveiði eða af framandi lífverutegundum sem ná fótfestu á vatnasviðinu eftir rennslisbreytingarnar. Því eru breytingar á líffræðilegum gæðapáttum oft ekki bein afleiðing af rennslisbreytingunum sem slíkum. Fiskstiginn við Búða jók möguleika á landnámi laxa á svæði þar sem urriði var áður en það veldur samkeppni um búsvæði og fæðu. Aukið landnám laxa í Þjorsá ofan Búða hefur valdið samkeppni við urriða sem þar var áður í Þjorsá ofan Búðafoss, þar sem þessar tvær tegundir velja svipuð búsvæði.

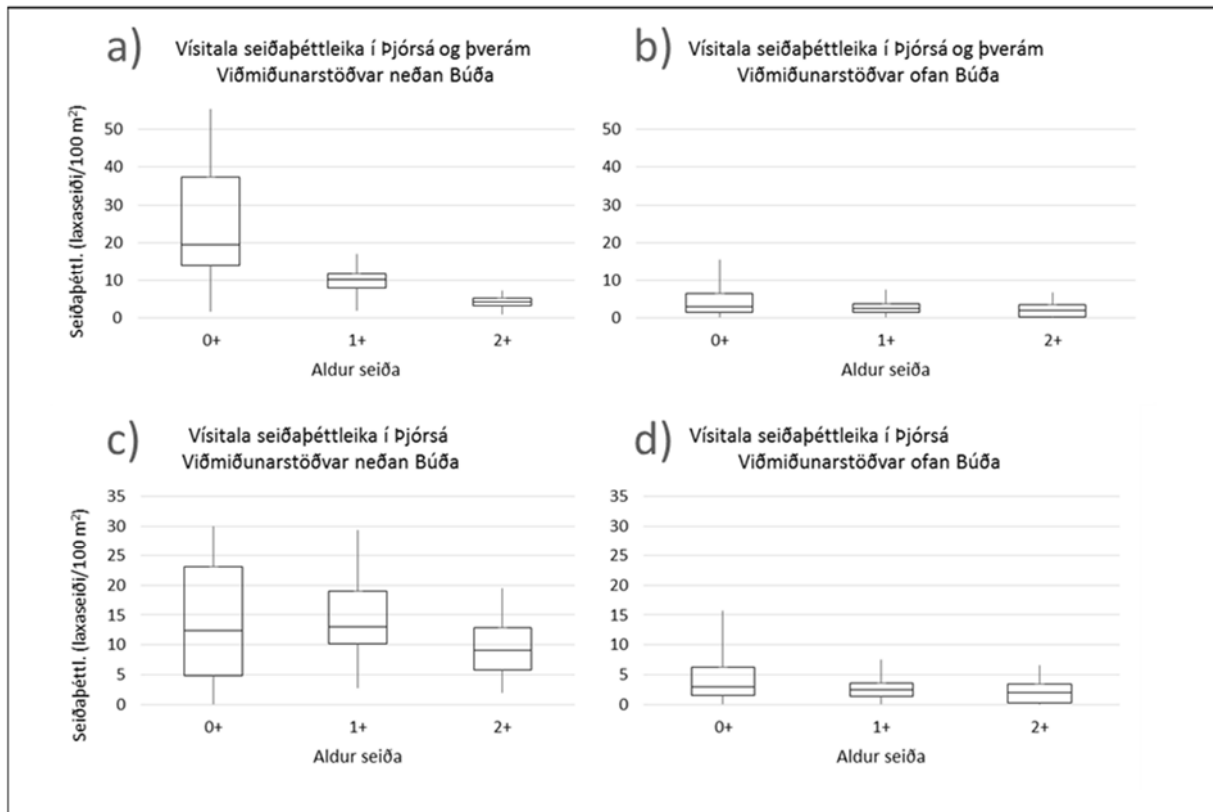


Mynd 38. Meðalþéttleiki laxaseiða í viðmiðunarstöðvum í Þjorsá og þverám hennar eftir aldri frá 2000 til 2015 ofan við (stöðvar 1, 2, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 21) og neðan við (stöðvar 15, 17, 19, 20, 33, 48, 50) Búðafoss. Þéttleikinn hefur aukist á rannsóknartímanum á báðum stöðum en þar sem landnám er enn í gangi ofan við Búðafoss er þéttleikinn þar ennþá minni en neðan fossins. *The average density of salmonids at the reference centers in Þjorsá and its tributary from 2000 to 2015 above (stations 1, 2, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 21) and below (stations 15, 17, 19, 20, 33, 48, 50) Búðafoss waterfall.*

Á Mynd 39 eru sýnd fjórðungsfrávik gagna um seiðapétteleika í Þjorsá og þverám hennar ofan og neðan Búða (Tafla 13). Efri tvær myndirnar lýsa þéttleikadreifingu í Þjorsá og þverám hennar ofan Búða (st. 1, 2, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 21) og neðan Búða (st. 15, 17, 19, 20, 33, 48, 50). Neðri

tvær myndirnar lýsa þéttleikadreifingu laxaseiða í viðmiðunarstöðvum í Þjórsá ofan Búða (st. 11, 12) og neðan Búða (19, 20, 33, 48). Þéttleiki 0+ seiða er meiri í þveránum en í Þjórsá en þéttleiki eldri seiðanna er hins vegar meiri í Þjórsá en í þveránum. Það getur þýtt að hrygningarstaðir séu frekar í þverám en í Þjórsár.

Vísitala þéttleika laxaseiða í Þjórsá og þverám hennar sem hér birtist (Tafla 13, Mynd 39) er ólík þéttleika Þjórsár eins og hann birtist í skýrslu Þórólfs Antonssonar o.fl. (2014), sem stafar af því að þar er líklega settur fram seiðapétteiki í Þjórsá ofan og neðan Búða og hliðaránum sleppt. Það væri sambærilegt og meðaltal þess seiðapétteika sem sýndur er á Mynd 39b og Mynd 39d.



Mynd 39. Vísitala þéttleika laxaseiða af mismunandi aldri á viðmiðunarstöðvum í Þjórsá og þverám hennar a) neðan (stöðvar 15, 17, 19, 20, 33, 48, 50) og b) ofan við Búðafoss (stöðvar 1, 2, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 21) og þéttleiki á viðmiðunarstöðvum í Þjórsá sjálfri c) neðan (stöðvar 19, 20, 33, 48) og d) ofan Búðafoss (stöðvar 11, 12) á árunum 2000–2015. Sjá staðsetningu stöðva á Mynd 37. *Specific density of salmonids at the reference centers in Þjórsá and its tributary from 2000 to 2015 a) below the Búðafoss waterfall, b) above Búðafoss waterfall (stations 1, 2, 6, 7, 9, 10, 11), and in Þjórsá c) below Búðafoss (stations 19, 20, 33, 48) and d) above Búðafoss (stations (11, 12).*

Gögn á bak við Mynd 39 eru birt í Tafla 13. Þau gögn eru einnig notuð í tilraun til að meta vistfræðilegt ástand Þjórsár út frá aðferð sem birtist í skýrslu Þórólfs Antonssonar o.fl. (2014) og er sú sama og notuð hefur verið í Noregi (Bergan, 2011). Þar eru skilgreindir fimm ástandsflokkar út frá þéttleikadreifingu laxaseiða viðmiðunarvatnshlota. Straumvatnshlot geta fallið í flokkana „Ágætt“, „Gott“, „Meðallag“, „Stakt“ og „Mjög slæmt“. Samkvæmt aðferðinni fellur lífríki straumvatnshlota í flokkinn „Mjög slæmt“ ef engin laxaseiði finnast, í flokkinn „slakt“ ef þéttleiki laxaseiða er undir 5% af þéttleikadreifingu viðmiðunarhlotsins, í flokkinn „Meðallag“ ef þéttleikinn er á milli 5 og 10%, í flokkinn „Gott“ ef þéttleikinn er frá 10% til meðalþéttleika viðmiðunarvatnshlotsins og í flokkinn „Ágætt“ ef þéttleikinn er ofan við meðalþéttleika

viðmiðunarvatnshlutsins. Í mati á vistfræðilegu ástandi Þjórsár (Tafla 14) var miðað við meðalþéttleika á rannsóknarstöðvum í Þjórsá ofan og neðan Búða (Tafla 13). Í matinu er aðeins notast við þéttleika 1⁺ og 2⁺ laxaseiða þar sem oft getur reynst erfitt að veiða 0⁺ seiðin.

Niðurstöður á mati á vistfræðilegu ástandi Þjórsár neðan Búða árin 2000–2002 er sýnt í Tafla 14C. Þar er miðað við þéttleikadreifingu fyrir straumvatnshlot á láglendi, á yngra bergi en 0,8 milljón ár, með takmarkaða þekju jökuls (<15%) og stöðuvatna (<12%) á vatnasviðinu (Þórólfur Antonsson o.fl. 2014). Matið sýnir að vistfræðilegt ástand Þjórsár neðan Búða féll í flokkinn „Ágætt“ 2000–2002 (Tafla 14C). Samskonar mat var gert fyrir árin 2000–2015 í Þjórsá ofan og neðan Búða (Tafla 14D) og var hvort svæði metið fyrir sig. Vistfræðilegt ástand Þjórsár neðan Búða var í floknum „Ágætt“ öll árin nema 2003 og 2007 þegar það var í floknum „Gott“. Landnám ofan Búða hefur sífellt verið að aukast, en árin 2000–2002 og 2004–2005 var vistfræðilegt ástand í flokk „Meðallag“ en í flokkinn „Ágætt“ öll hin árin.

Á stórum köflum í farvegi Þjórsár neðan Búrfells hafa lífsskilyrði fyrir ferskvatnsfiska batnað eftir virkjun árinna þar sem rennslissveiflur eru að jafnaði minni en fyrir virkjun, og framburður á svifaur hefur minnkað. Umhverfið er að öllu jöfnu stöðugra en ef um væri að ræða óbeislaða jökulá, sem hentar lífríkinu betur. Þó verður að taka með í reikninginn að rennslinu er stýrt og ýmsir atburðir tengdir rekstir virkjana og viðhaldi virkjanamannvirkja geta haft neiðkvæð áhrif sbr. tæming á Sultartangalóni árið 2010 sem fyrr er getið og fjallað er um í kafla 4.5.3.2. Ekki er hægt að mæla náttúrulegar breytingar á stærð fiskstofna eftir tilkomu virkjananna þar sem seiðasleppingar og gerð fiskstiga í Búða hafa átt sinn þátt í aukinni veiði.

Tafla 13. Meðaltal og fjórðungsfrávik vísitölu þéttleika laxa- og urriðaseiða í Þjórsá og þverám hennar ofan (stöðvar 1, 2, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 21) og neðan (stöðvar 15, 17, 19, 20, 33, 48, 50) við Búðafoss 2000–2015. *Average and quartiles of the juveniles of salmon and trout density index, 2000-2015.*

		aldur	meðaltal	min	25%	miðgildi	75%	max
Lax								
Viðmiðunarstöðvar í Þjórsá og þverám								
	neðan Búða	0 ⁺	24,8	1,8	14,0	19,5	37,3	66,5
		1 ⁺	11,6	2,0	7,8	10,1	11,6	17,0
		2 ⁺	5,1	1,1	3,2	4,3	5,1	7,3
	ofan Búða	0 ⁺	9,4	0,1	3,4	6,2	9,9	38,6
		1 ⁺	2,7	0,2	1,3	2,2	4,0	6,3
		2 ⁺	1,6	0,0	0,2	1,4	2,3	4,4
Viðmiðunarstöðvar í Þjórsá								
	neðan Búða	0 ⁺	13,3	0,0	4,9	12,4	23,1	30,0
		1 ⁺	13,9	2,9	10,2	13,1	18,9	29,4
		2 ⁺	8,8	2,0	5,9	9,1	12,9	19,4
	ofan Búða	0 ⁺	2,9	0,2	0,7	1,8	4,0	9,4
		1 ⁺	3,4	0,0	1,1	2,8	4,3	14,2
		2 ⁺	4,5	0,0	0,2	3,0	6,0	14,9
Urriði								
Viðmiðunarstöðvar í Þjórsá og þverám								
	neðan Búða	0 ⁺	14,8	3,9	11,8	13,8	19,2	24,8
		>1 ⁺	8,2	4,5	5,2	6,8	10,1	16,2
	ofan Búða	0 ⁺	27,7	9,0	23,8	25,1	32,0	45,3
		>1 ⁺	5,3	3,0	4,3	4,8	5,9	9,0
Viðmiðunarstöðvar í Þjórsá								
	neðan Búða	0 ⁺	9,9	0,0	6,2	9,1	11,7	27,3
		>1 ⁺	14,6	7,2	9,1	11,4	17,5	40,5
	ofan Búða	0 ⁺	12,1	2,6	5,4	10,2	19,8	22,6
		>1 ⁺	9,8	5,5	7,2	9,6	11,6	15,8

Tafla 14. A) Stigatafla til mats á vistfræðilegu ástandi straumvatnshlota í flokki RIL111 (Þórólfur Antonsson o.fl. 2014). B) Ástandsflokkar fyrir mismunandi ástand straumvatnshlota. C) Dæmi um mat á vistfræðilegu ástandi Þjórsár neðan Búða árin 2000–2002 (st. 19, 20, 33, 48). D) Samskonar mat og í C) á vistfræðilegu ástandi Þjórsár ofan (st. 11, 12) og neðan Búða (st. 19, 20, 33, 48) fyrir árin 2000 til 2015. *Table for assessment of the ecological state of water bodies in the category RIL111 (Þórólfur Antonsson et al. 2014).*

A.

Stigatafla fyrir mat á vistfræðilegu ástandi straumvatnshlota
(Þórólfur Antonsson o.fl. 2014)

Matsþáttur

Árgangaskipan laxaseiða

Engin laxaseiði til staðar

Einn árgangur

Tveir árgangar

Þrír eða fleiri árgangar

Hrygningarfiskur, staðbundinn eða sjógenginn

Engin skráning stofnstærðar/veiði

Skráning stofnstærðar/veiði

Þéttleiki 1⁺ seiða á hverja 100 m²

Engin 1⁺ seiði

<1,6 seiði /100 m² (<5% af þéttleikadreifingu)

1,6-2,4 seiði /100 m² (5-10% af þéttleikadreifingu)

2,4-8,8 seiði / 100 m² (10% til meðalþéttl.)

> 8,8 seiði /100 m² (yfir meðalþéttl.)

Þéttleiki 2⁺ seiða á hverja 100 m²

Engin 2⁺ seiði

<0 seiði /100 m² (<5% af þéttleikadreifingu)

0-0 seiði /100 m² (5-10% af þéttleikadreifingu)

0-2,3 seiði / 100 m² (5-10% af þéttleikadreifingu)

>2,3 seiði /100 m² (yfir meðalþéttl.)

Mat á urriða og bleikju

ekki til staðar

Til staðar

Heildarstigafjöldi

0-19

C.

Dæmi um mat á vistfræðilegu ástandi m.v.
RIL-111 (Þórólfur Antonsson o.fl. 2014)

Þjórsá neðan Búða

2000

2001

2002

0

1

2

3

2

2

2

0

1

1

1

1

0

1

2

5

8

8

8

5

0

1

4

5

6

6

6

6

0

1

1

1

1

18

18

15

B.

Ástandsflokkar

Ágætt

Gott

Meðallag

Stakt

Mjög slæmt

>14

10 - 13

5 - 9

1 - 4

0

D.

Vistfræðilegt ástand Þjórsár

Ár

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

neðan Búða

18

18

15

12

18

18

18

15

18

18

17

18

18

18

18

ofan Búða

9

5

6

12

5

5

14

11

15

11

15

18

15

15

15

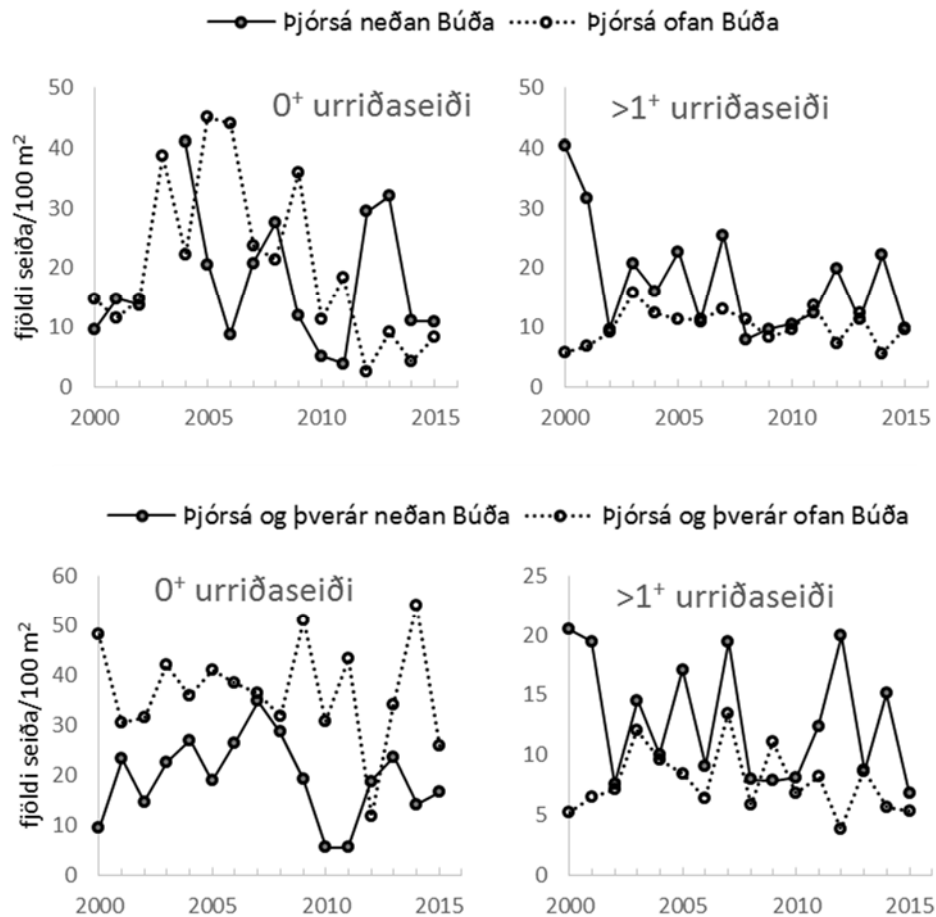
Skotar hafa lagt til aðra leið við mat á vistfræðilegu ástandi en notuð er í Noregi og hér að ofan (Tafla 14). Þar eru flokkarnir fimm byggðir á þéttleikaprósentu laxa- og urriðaseiða sem skiptist jafnt á hundraðsmörkum 20, 40, 60, 80 og 100 (Godfrey, 2005). Einnig er 0% þéttleikadeifing notuð við matið. Ekki hefur verið reynt að skipta flokkunum á Íslandi upp á þennan hátt en væri vissulega áhugavert til samanburðar við Norsku aðferðina. Þó svo að ekki sé hægt að meta ástand vistkerfis í Þjórsá á þennan hátt hefur þéttleikadreifingu laxa verið skipt upp eftir hundraðshlutflokkum á sama hátt (Tafla 15) og gert er í Skotlandi svo auðvelt sé að nálgast þessi gögn fyrir Þjórsá þegar og ef viðmiðunar vatnshlot á Íslandi verða flokkuð á þann hátt.

Tafla 15. Meðaltal og fimm hundraðshlutflokkar vísitölu þéttleika seiða í Þjórsá og þverám hennar ofan og neðan við Búðafoss. *Average and quantiles of the density index of juveniles in Þjórsá and tributaries, 2000–2015.*

				Hundraðshlutamörk					
	aldur	meðaltal		0%	20%	40%	60%	80%	100%
Lax									
<i>Þjórsá og þverár</i>									
<i>neðan Búða</i>	0⁺	24,8		3,0	18,1	21,0	25,3	44,5	93,2
	1⁺	11,6		2,0	7,8	9,6	11,3	16,1	21,7
	2⁺	5,1		1,6	4,3	7,4	9,7	12,3	24,3
	0⁺	9,4		0,4	5,3	7,1	8,3	14,6	42,8
	1⁺	2,7		0,8	1,6	2,4	3,8	6,2	8,2
	2⁺	1,6		0,0	0,9	1,8	2,8	5,9	7,6
<i>Þjórsá</i>									
<i>neðan Búða</i>	0⁺	13,3		0,0	2,9	13,0	20,6	33,8	42,8
	1⁺	13,9		2,9	10,6	12,7	14,9	22,2	36,7
	2⁺	8,8		2,4	6,6	10,3	12,3	15,5	24,3
	0⁺	2,9		0,3	1,4	2,0	3,3	7,8	16,7
	1⁺	3,4		0,0	1,2	3,4	3,9	5,8	14,2
	2⁺	4,5		0,0	0,0	2,3	5,3	12,4	14,9
Urriði									
<i>Þjórsá og þverár</i>									
<i>neðan Búða</i>	0⁺	14,8		5,5	14,1	18,7	22,6	26,3	34,7
	>1⁺	8,2		6,8	8,0	9,1	14,5	19,4	20,5
	0⁺	27,7		11,6	30,6	34,1	38,4	43,4	54,1
	>1⁺	5,3		3,8	5,6	6,5	8,2	9,5	13,4
<i>Þjórsá</i>									
<i>neðan Búða</i>	0⁺	9,9		3,8	9,3	11,6	17,1	28,0	41,0
	>1⁺	14,6		8,0	9,6	11,3	20,0	22,6	40,5
	0⁺	12,1		2,6	9,1	14,7	21,3	36,0	45,1
	>1⁺	9,8		5,5	7,3	9,6	11,3	12,4	15,8

Hundraðshlutflokkarnir sem stuðst er við í skosku aðferðafræðinni eru kallaðir flokkar A – E. Í flokk A fara vatnsföll sem hafa seiðapétteikagögn yfir 80% af þéttleikadreifingu, flokkur B er

60–80% af þéttleikadreifingu, flokkur C er 40–60% af þéttleikadreifingu, flokkur D er 20–40% af þéttleikadreifingu og flokkur E er >0 – 20% af þéttleikadreifingu gagna í viðmiðunarvatnsföllum. Vatnsföll með engum seiðum eru ekki flokkuð með þessu móti, heldur þarf að meta þau sérstaklega út frá tölfræðilegum gögnum af svæðinu.



Mynd 40. Þéttleiki urriðaseiða í viðmiðunarstöðvum í Þjórsá (efri myndir) neðan (stöðvar 19, 20, 33, 48) og ofan (st. 11, 12) Búðafoss, og í Þjórsá og þverám hennar (neðri myndir) neðan (st. 15, 17, 19, 20, 33, 48, 50) og ofan (st. 1, 2, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 21) Búðafoss. The average density of trout juveniles at the reference centers in Þjórsá and its tributary from 2000 to 2015 above (stations 1, 2, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 21) and below (stations 15, 17, 19, 20, 33, 48, 50) Búðafoss waterfall.

Eins og minnst var á fyrir í þessum kafla hefur aukið landnám laxa í Þjórsá og þverám ofan Búðafoss valdið samkeppni við urriða sem var fyrir á svæðinu. Seiðarannsóknir á sömu viðmiðunarstöðvum leiða í ljós að þéttleiki 0+ og 1+ urriðaseiða í Þjórsá ofan Búða hefur minnkað frá árinu 2007 (Mynd 40), á sama tíma og þéttleiki laxaseiða jókst (Mynd 39). Þetta getur stafað af samkeppni við laxinn sem er í sókn í Þjórsá, eftir seiðasleppingar og búsvæðastækkun sem varð við gerð fiskistigans við Búðafoss og nýttist fyrst og fremst laxinum. Líffræðilegir gæðapættir segja því ekki endilega alltaf sömu sögu við breytingar á vatnshlotum af mannavöldum. Þrátt fyrir að þéttleiki urriðaseiða hafi minnkað í Þjórsá á undanförunum árum er þéttleiki þeirra meiri en í RIL111, þeirri vatnshlotagerð sem Þjórsá fellur í (Þórólfur Antonsson o.fl., 2014).

4.5.3.2 Áhrif svifauris á lífríki í Þjórsá

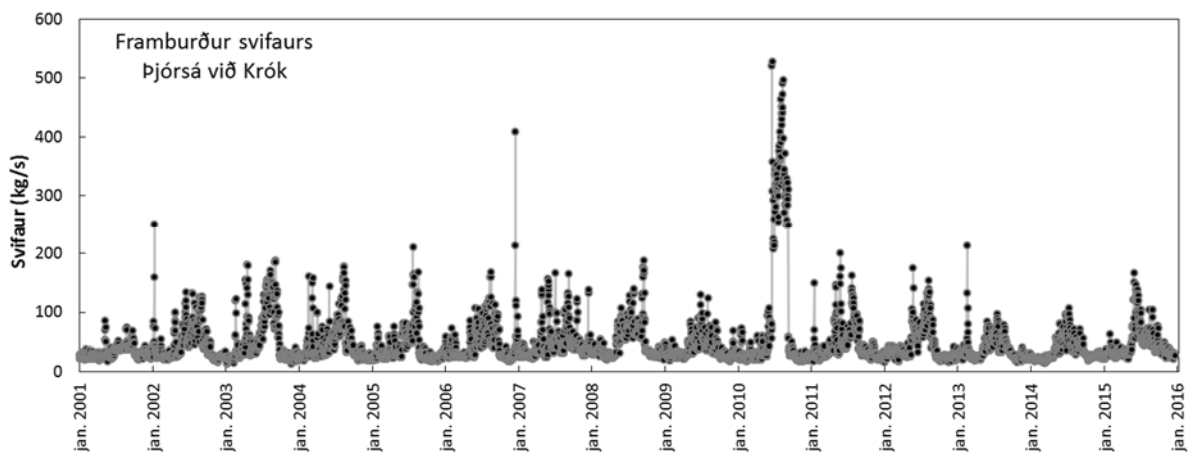
Svifaur í óbeisluðum jökulám er mikill en breytilegur yfir árið (t.d. Haukur Tómasson, 1982; Svanur Pálsson o.fl., 2000). Við virkjun jökuláa fellur stór hluti af jökulaurnum út í lónunum. Hlutfall þess sem fellur út fer eftir grófleika efnisins sem berst inn í lónið og dvalartíma vatnsins í lónunum. Frá því virkjunarframkvæmdir á vatnasviði Þjórsár hófust hefur svifaur minnkað úr 3,1 milljón tonnum á ári (Haukur Tómasson, 1982) í 1,2 milljón tonn á ári (Esther Hlíðar Jenssen o.fl. 2013).

Svifaur hefur mikil áhrif á möguleika ljóstillífandi lífvera í vötnum þar sem gegnsæi vatnsins minnkar með auknum styrk svifauris. Í gruggugu vatni er skyggni oft það lítið að fiskur getur átt erfitt með að greina fæðu. Minnkun svifauris í Þjórsá eftir virkjun árinna hefur því líklega haft þau áhrif að möguleikar ljóstillífandi lífvera í straumvatninu hafa aukist (Hákon Aðalsteinsson, 1981). Reynslan hefur sýnt að seiði í Þjórsá nýta sér búsvæði sem eru ekki á meira dýpi en 0,5 m þar sem grugg dregur hratt úr framleiðsludýpi í vötnum (Magnús Jóhannsson o.fl., 2002). Frumframleiðendur í Þjórsá nýta sem fæða fyrir botndýr í farveginum, en þéttleiki botndýra er mikill í Neðri Þjórsá miðað við önnur jökullituð straumvötn á Íslandi (Magnús Jóhannsson o.fl., 2002). Botndýrin eru svo aftur mikilvæg fæða fyrir fiska í Þjórsá. Algengustu botndýrin í Neðri Þjórsá eru rykmýslirfur (*Chironomidae*), þráðormar (*Nematoda*) og ánar (*Oligochaeta*) (Magnús Jóhannsson o.fl., 2002).

Þrátt fyrir að svifaur í Þjórsá hafi minnkað eftir virkjun árinna koma stundum tímabil þar sem svifaursstyrkur er hár, og jafnvel hærri en hann var fyrir virkjun. Þannig ástand skapast í tengslum við opnun botnloka á stíflumannvirkjum (Esther Hlíðar Jenssen o.fl. 2013). Árið 2010 (26. júní til 26. september skv. vatnshæðamæli í lóninu) þurfti að lækka vatnsborð í Sultartangalóni verulega vegna viðhalds á stíflunni (Landsvirkjun, 2010a). Á því tímabili var svifaursstyrkur í Þjórsá mun hærri en venjulega og vatnið því áberandi gruggugt (Benóný Jónsson og Magnús Jóhannsson, 2011). Svifaurssýni sem Veðurstofa Íslands safnaði í Þjórsá við Urriðafoss í júlí og september 2010 staðfestu það, því styrkur svifaurisins var hærri miðað við rennsli (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2011) en hann var á árunum 1972–1973 (Halldór Ármannsson o.fl. 1973). Reiknaður framburður svifauris, eins og lýst var í kafla 4.3 er sýndur á Mynd 41.

Þegar seiðarannsóknir voru gerðar í Þjórsá í ágúst–september árið 2010 var gert þéttleikamat ásamt mælingum á lengdar-, aldurs- og tegundasamsetningu. Niðurstöður frá árinu 2010 benda til þess að aðstæður í Þjórsá það sumarið hafi verið erfiðar fyrir seiði. Meðallengd laxaseiða var lág miðað við niðurstöður fyrri ára og höfðu eins árs laxaseiði aldrei mælst minni við Stöðulfell og Skálmholt frá því að mælingar hófust árin 1994 og 2001 (Benóný Jónsson og Magnús Jóhannsson, 2011). Þar sem botnlokurnar á Sultartangastíflu voru opnar yfir allt vaxtarskeið seiðanna, og framburður svifauris þ.a.l. mikill, hefur það hamlað fæðuöflun seiðanna og jafnvel haft áhrif á vöxt og þrif fæðudýranna sjálfra í ánni. Það hefur haft áhrif á stærð seiðanna, sem kom fram í mælingunni sem fram fór síðusumars 2010. En þrátt fyrir smæð eins árs laxaseiða í Þjórsá sumarið 2010 var fjöldi tveggja ára seiða sumarið 2011 í meðallagi, þannig að lítil vöxtur seiða árið 2010 hefur ekki valdið afföllum á þeim (Benóný Jónsson og Magnús Jóhannsson, 2012). Þessar vísbendingar staðfesta tilgátur um neikvæð áhrif svifauris á lífríki ferskvatns og því

er mikilvægt að takmarka þá tímalengd sem botnlokur á stíflumannvirkjum eru hafðar opnar, svo að lífríkið eigi auðveldara uppdráttar. Telja má líklegt að endurtekin opnun botnloka sem nær yfir löng tímabil hafi neikvæð áhrif á viðkomu laxfiska í ánni. Opnun botnloka, og þar með aukinn framburður á svifaur, í stuttan tíma hefur líklega minni áhrif á vöxt seiða en langvarandi tímabil með háum svifaursstyrk, þar sem líklegt er að seiðin nái að bæta sér upp fæðutap á milli þess að botnlokurnar opnast.



Mynd 41. Meðalframburður (kg/s) svifaurs í Þjórásá við Krók. Framburðurinn er reiknaður út frá dagsmeðalrennsli við Krók (Landsvirkjun, 2016) og svifaurslyklum fyrir vetur og sumar á sama stað (Esther Hlíðar Jensen o.fl. 2013) og mati á svifaursstyrk vs. rennsli byggt á sýnum teknum 2010 (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2011) – sama og mynd 30. *Average flux of suspended matter in Þjórásá at Krókur. The flux is calculated using daily average discharge and discharge–sediment flux correlation (Esther Hlíðar Jensen o.fl. 2013; Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2011) – same as figure 30.*

Laxaseiði hafa mælst minni í Þjórásá en jafngömum laxaseiði í þverám Þjórásar (t.d. Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson, 2011) sem stafar líklega af lægra hitastigi og minna rýnis í Þjórásá en í þverám hennar. Það er því ljóst að álag á seiði er meira í Þjórásá en í þverám hennar en ekki er líklegt að skammtíma opnum botnloka hafi úrslitaáhrif á afkomumöguleika seiða í Þjórásá sökum takmörkunar á frumframleiðni og möguleikum á fæðuöflun fiska, fer það þó eftir tíðni slíkra atburða. Skammtíma opnun botnloka og aukinn framburður svifaurs hefur þó líklega áhrif á göngur laxfiska. Þær eru hraðari eftir því sem hitastig vatnsins er hærra og gegnsæi vatnsins meira (Magnús Jóhannsson o.fl., 2008). Rannsóknir í Blöndu hafa t.d. sýnt að gönguhraði laxfiska hefur aukist eftir tilkomu Blöndulóns og er það talið stafa af auknu rýni í árvatninu (Sigurður Guðjónsson og Ingi Rúnar Jónsson, 2000).

5. Umræða

5.1 Flokkun á vistfræðilegu ástandi vatnshlota á Þjórsár–Tungnaár svæðinu

Flokkun vatnshlota út frá vistfræðilegu ástandi þeirra krefst þess að ákveðin viðmið séu skilgreind fyrir hverja gerð vatnshlota. Árið 2013 var Veiðimálastofnun falið að taka saman og greina líffræðileg gögn um yfirborðsvatnshlot með það að markmiði að leggja mat á hvaða líffræðilegu þættir koma til greina sem gæðapættir við íslenskar aðstæður. Markmiðið með samantektinni var að gera fyrstu tilraun til að byggja upp viðmið fyrir líffræðilega gæðapætti fyrir hverja gerð yfirborðsferskvatns (Halla Margrét Jóhannesdóttir, 2014; Friðþjófur Árnason, 2014; Elísabet R. Hannesdóttir og Jón S. Ólafsson 2014; Gunnar Steinn o.fl. 2014; Þórólfur Antonsson o.fl. 2014). Á sama tíma var einnig gerð tillaga að viðmiðunarvatnshlotum (óröskuðum) fyrir straumvötn (Halla Margrét Jóhannesdóttir og Ingi Rúnar Jónsson, 2014). Þessari vinnu hefur ekki verið framhaldið eftir árið 2014 þar sem vinnu við Vatnatilskipun var slegið á frest seinna það sama ár. Þar af leiðandi hafa líffræðilegir gæðavísar ekki verið skilgreindir fyrir íslensk vatnsföll. Hér verður þó leitast við að nota það sem liggur fyrir til að gera fyrstu tillögu að flokkun vatnshlota á Þjórsár–Tungnaársvæðinu. Notaður verður flokkunarlykill sem notaður hefur verið við flokkun vatnshlota í Vatnatilskipun Evrópuþingsins (WFD CIS, 2003a) og þær upplýsingar sem til eru um lífríki vatnshlotanna í Þjórsá – Tungnaá.



Mynd 42. Flokkunarlykill Vatnatilskipunar sem sýnir afstætt hlutverk líffræðilegra, eðlis-efnafræðilegra og vatnsformfræðilegra gæðapátta við flokkun vatnsfalla eins og gert er ráð fyrir í Vatnatilskipun (WFD CIS, 2003a). *Indication of the relative roles of biological, hydromorphological and physico- chemical quality elements in ecological status classification.*

5.1.1 Þjórsá ofan Sultartanga og Kvíslaveitur

Þessi hluti Þjórsár hefur fengið vatnshlotanúmerið 103-950-R (Þjórsá 4) (vatn.is, 10/04/2017) en Kvíslarveitur skiptast í mörg vatnshlot, bæði lón og veituskurði. Lónin eru Þjórsárlón, Sauðafellslón, Stóraverslón, Kvíslavatn, Eyvindarlón, Hreysislón. Á milli þeirra er fjöldi veituskurða sem veitir vatni úr einu lóni í annað, uns það fellur í Þórisvatn. Nyrstu kvíslum Þjórsár (vatnshlot nr. 103-957-R) er veitt í Þjórsárlón ásamt Háöldu- og Fjórðungskvísl (103-786-R) og bergvatnaskvíslum af austurhluta vatnasviðs Þjórsár (Hreysiskvísl nr. 103-545-R, Eyvindarkvísl syðri nr. 103-618-R, Eyvindarkvísl nr. 103-621-R, Þúfuverskvísl 2 nr. 103-589-R, Svörtubotnar? nr. 103-969-R, Austurkrókur? nr. 103-528-R, Svartá nr. 103-655-R) er safnað í lón sunnar á vatnasviðinu. Áður en vatnshlotin falla í lónin eru þau náttúruleg og flokkast við fyrstu athugun sem vatnshlot í góðu ástandi. Gögn um lífríki, eðlis-efnafræðilegar- og vatnsformfræðilegar breytur eru nauðsynleg til að meta ástand vatnshlotanna eftir vatnatilflutninga á svæðinu.

Líffræðilegar breytur: Rannsóknir á lífríki Þjórsár ofan Sultartanga og um Kvíslarveitum hafa verið stoppolar. Þó hefur verið sýnt fram á að svæðið ofan Gljúfurleitarfoss hafi verið fisklaust frá náttúrunnar hendi (Magnús Jóhannsson og Sigurður Guðjónsson, 1998) auk þess sem hornsíli finnast á svæðinu (Guðni Guðbergsson, 1990; 2009).

Fyrst eftir myndun Kvíslaveitu var mikið af urriðaseiðum sleppt í Kvíslavötnin. Í kjölfarið veiddist mikið af stórum urriða á fyrstu árum Kvíslaveitu en fljótlega dró úr veiðinni, líklega þar sem dregið hafði úr fæðuframboði í Kvíslavötnunum (Guðni Guðbergsson, 2009). Þó er urriði í talsverðum þéttleika í Kvíslarveitum og náttúruleg hrygning, sem er aðallega bundin við skurði tengdum lónunum, stendur undir nýliðun (Guðni Guðbergsson og Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir, 2001; Guðni Guðbergsson og Sigurður Guðjónsson, 2008). Meðallengd 2⁺, 3⁺ og 4⁺ urriða í Kvíslavötnum er um og yfir stærð urriða af sama aldri í jökulskotnum viðmiðunarvötnum (Friðþjófur Árnason, 2014).

Efnafræðilegar breytur: Ekki eru til neinar upplýsingar um eðlis-efnafræðilegar breytur í Þjórsá ofan Sultartanga eða í Kvíslaveitum. Hér verður notast við upplýsingar um efnasamsetningu og árframburð Þjórsár við Sandafell (Sigurður Reynir Gíslason o.fl. 1998) og efnasamsetningu og árframburð Tungnaár við Hrauneyjafossstöð (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2016). Mismunur á efnasamsetningu Tungnaár og Þjórsár við Sandafell og rennslisflutfall Tungnaár af heildarrennsli Þjórsár við Sandafell ætti að gefa nokkuð góðar upplýsingar um efnastyrk og árframburð Þjórsár ofan Sultartanga er. Samkvæmt þessum samanburði (Tafla 10) eru málmar og næringarefni í Þjórsá ofan Sultartanga í lágum styrk og flokkast í umhverfisflokk A (Tafla 11), ósortið vatn. Það verður þó að taka fram að þetta er fremur gróft mat og kemur ekki í staðinn fyrir að mæla efnasamsetningu vatnsins.

Vatnsformfræðilegar breytur: Rennslismælirinn í Þjórsá við Dynk er ofan við Sultartangalón og mælir það vatn sem streymir eftir farvegi Þjórsár inn í lónið. Samfelldar rennslisraðir eru til úr Þjórsá úr vatnshæðarmæli við Dynk frá 1988 til dagsins í dag. Þar sem rennslisröðin nær ekki aftur fyrir framkvæmdir við Kvíslaveitur (1980–1985) er ljóst að greiningin nær ekki yfir allar rennslisbreytingar sem hafa orðið á vatnasviðinu. Einungis ein framkvæmd bættist við á Kvíslaveitusvæðinu eftir að samfelldar rennslismælingar hófust við Dynk, myndun Þjórsárlóns

árið 1997. Mynd 6 sýnir vel hvernig rennsli Þjórsár við Dynk hefur breyst frá 1988 til 2015. Á myndinni er rennsli skipt upp með litum í fimm flokka skv. EFC (Tafla 3), mánaðarlegt lágrennsli, óvenjulágt rennsli, hárennslistoppar, lítil og stór flóð. Frá 1988–1997 komu tvö stór flóð og nokkur lítil. Eftir 1997 hefur aldrei komið stórt flóð í Þjórsá við Dynk og tíðni lítilla flóða hefur minnkað. Hárennsli lækkaði snarlega árið 1997 þegar Þjórsárlón var myndað (Mynd 9). Tíðni tímabila með óvenjulágt rennsli, sem einskorðast við vetrarástand, er meiri eftir 1997 en fyrir, en alltaf er vatn til staðar í farveginum, að meðaltali 30 m³/s í lágrennsli (Mynd 9). Af þessari greiningu má sjá að þó að breytinga gæti í kjölfar myndunar Þjórsárlóns 1997 er vatnsstaðan í farveginum við lágrennsli óbreytt eftir myndun Þjórsárlóns. Rennsli í farveginum hefur jafnast út og stórra flóða gætir ekki lengur. Lífríkið er sérstaklega viðkvæmt fyrir lágrennsli og rennslistoppum, en þar sem lágrennsli eftir manngerðar breytingar fer aldrei undir náttúrulegt lágrennsli og rennslistoppar hafa verið jafnaði út að miklu leyti (Mynd 8) er ekki líklegt að rennslisbreytingar í farveginum hafi haft neikvæð áhrif á lífríki í farvegi Þjórsár við Dynk.

Samantekt: Út frá þessu niðurstöðum má álykta að lífríki í Þjórsá ofan Gljúfurleitarfoss og Kvíslaveitu hafi ekki hrakað eftir virkjun vatnsfallsins. Áður en virkjanaframkvæmdir hófust var lífríkið þegar undir miklu náttúrulegu álagi, í jökulá á hálendi Íslands. Svæðið var fisklaust frá náttúrunnar hendi, en urriði finnst nú í Kvíslavatni og stendur náttúruleg hrygning undir nýliðun. Þessar vísbendingar ásamt niðurstöðum um eðlis-efnafræðilega og vatnsformfræðilega gæðabætti er hægt að nota skv. flokkunarlykli (Mynd 42) og benda til þess að Þjórsá ofan Gljúfurleitarfoss og Kvíslaveitur flokkist sem „vatnshlot í mjög góðu ástandi“.

5.1.2 Kaldakvísl, Tungnaá og lón á vatnasviðum þeirra.

5.1.2.1 Kaldakvísl, Hágöngulón, Sauðafellslón og Þórisvatn

Ofan Hágöngulóns falla Kaldakvísl (nr. 103-633-R) og Sveðja (nr. 103-645-R) í sínum náttúrulegu farvegum, inn í lónið. Neðan Hágöngulóns fellur Kaldakvísl (nr. 103-790-R) og þar rennur nú bergvatn á meðan Hágöngulón er að fyllast. Jökulvatni úr lóninu er miðlað niður á vatnasviðið á haustin og veturna um farveg Köldukvíslar (nr. 103-790-R). Kaldakvísl fellur fyrst í Sauðafellslón og þaðan í Þórisvatn. Í Köldukvísl neðan Sauðafellslóns (nr. 103-614-R) er oftast bergvatn eftir myndun Hágöngulóns.

Í Hágöngulóni og Köldukvísl eru búsvæði rýr fyrir urriða, en þó hefur urriði, líklega af sleppiuppruna, fundist í Hágöngulóni og í lækjum sem falla í það. Urriði virðist þrífast ágætlega í Sauðafellslóni. Í farvegi Köldukvíslar upp að fossinum Nefja veiðist bleikja. Fyrir virkjunarframkvæmdir á vatnasviðunum var urriðaveiði í Þórisvatni og voru aðalhrygningastöðvar í lækjum sem runnu til Austurbotnavatns, sem nú er hluti af Þórisvatni. Hrygningarstöðvarnar eyðilögðust er þær kaffærðust við stækkun Þórisvatns. Skortur á hrygningarstöðvum fyrir urriða í Þórisvatni hamlar náttúrulegri nýliðun urriðans í Þórisvatni en þar hefur urriða verið viðhaldið með seiðasleppingum. Náttúruleg hrygning virðist þó hafa heppnast í einstaka ári líklega í árum þar sem fullri vatnshæð í Þórisvatni hefur ekki verið náð, og lækir í Austurbotni hafi náð að falla til vatnsins og nýst urriða til hrygningar (Guðni Guðbergsson, 1999). Urriði krefst straumvatns til hrygningar en bleikjan getur hrygnt í kyrru vatni, en þó getur nýliðun bleikju á strandsvæðum verið takmörkuð af miklum

vatnsborðsbreytingar. Flatarmál Þórisvatns fer úr 53 km² í lægstu stöðu, í 88 km² í hæstu stöðu og vatnshæðin sveiflast yfirleitt um 13–14 m á ári en árið 2014 var mikill þurrkur og þá urðu lækkaði vatnsborð Þórisvatns um 19 m yfir árið (Snævarr Georgsson, 2016; Landsvirkjun, 2017b). Slíkar vatnsborðsbreytingar hamla vexti lífverum sem lifa og hrærast á fjörubeltinu.

5.1.2.2 Tungnaá, Krókslón, Hrauneyjalón, Sporðöldulón

Tungnaá fellur ótrufluð í sínum náttúrulega farvegi (vatnshlot nr. 103-827-R, 103-941-R og 103-878-R) þar til hún fellur í Krókslón. Þangað fellur einnig vatn úr Þórisvatni sem ættað er úr Kvíslarveitum og Köldukvísl. Vatn úr Krókslóni fellur áfram í Hrauneyjalón um veitugöng en yfirfall er á milli lónanna í gamla Tungnaárfarveginum (nr. 103-973-R). Úr Hrauneyjalóni fellur vatn um veituskurð í Sporðöldulón en á milli þeirra er einnig vatn í farvegi Tungnaár (nr. 103-812-R).

Bleikja er ríkjandi í Krókslóni, Hrauneyjalóni og Sultartangalóni, en urriði finnst þar einnig. Rannsóknir hafa sýnt hnignandi ástand fiskstofna frá árinu 1990 til 2011 í lónunum sem má að öllum líkindum rekja til vaxandi aldurs lónanna og minnkandi framboðs á næringarefnum og groti á lónbotni. Stofnarnir ná að viðhalda sér með hrygningu í og við lónin og á bleikjan auðveldar með það en urriðinn þar sem bleikjan getur hryngt í nánast kyrru vatni. Hrognin eru þó viðkvæm fyrir því að fara á þurrt og geta því spillst við mikla vatnsmiðlun.

Bleikja og urriði lifa í Sporðöldulóni og fjöldi þeirra var töluverður eins og þekkt er úr nýmynduðum lónum (Guðni Guðbergsson, 2009). Myndun Sporðöldulóns hefur orðið til þess að mikilvægar hrygningastöðvar og uppeldissvæði seiða hafa eyðilagst. Þar sem stutt er síðan lónið var myndað er ekki komið í ljós hvort/hvernig lífverurnar aðlaga sig að breyttum aðstæðum en þó virðist bleikja hafa fært hrygningastöðvar sínar ofar á vatnasvið Köldukvíslar. Ýmislegt var gert í hönnun Sporðöldulóns til að viðhalda fiskgengd og er rennsli tryggt um farveg Tungnaár eftir myndun Sporðöldulóns með linda- og lekavatni neðan Hrauneyjalóns sem veitt er áfram til farvegs Tungnaár neðan Sporðöldulóns (Benóný Jónsson, 2013). Enn er lónið ungt og ekki er hægt að fullyrða um hvernig lífríkið mun þróast áfram í Sporðöldulóni þar sem það á eftir að ná einhverskonar jafnvægi eftir breytingarnar.

Líffræðilegar breytur. Eins og fjallað er um í kafla 4.5.2.1 er stærð 2⁺ og 3⁺ bleikju og urriða í lónunum á Tungnaár–Köldukvíslasvæðinu um eða yfir meðalstærð þessara sömu árganga í jökulskotnum viðmiðunarstöðuvötnum (Friðþjófur Árnason, 2014) sem bendir til þess að lífsskilyrði séu ekki lakari í lónunum en í óröskuðum jökulskotunum stöðuvötnum á Íslandi. Rannsóknaveiðar benda þó til þess að stofnstærð bleikju og urriða í lónum á Tungnaár–Köldukvíslarsvæðinu hafi minnkað með tíma frá fyrstu árum lónanna, ásamt því sem stærð bleikju og urriða minnkaði með aldri lónanna. Stærð þeirra er þó ekki minni en í viðmiðunarvatnshlotunum. Það er mikilvægt að fylgjast með þessari þróun sem og nýliðun í lónunum sem skiptir öllu máli fyrir sjálfbærni lífríkisins til lengri tíma litið.

Efnafræðilegar breytur: Ekki eru til miklar upplýsingar um efnasamsetningu Köldukvíslar. Þó eru til niðurstöður mælinga á sýnum sem safnað var í tengslum við flóð í Sveðju í Hágöngulón 13. júlí 2011. Safnað var í Köldukvísl við Þveröldu og var fyrsta sýnið tekið kl 12:40 áður en rennsli tók að aukast eftir að flóðið hófst (Galeczka o.fl. 2014) og er því líklegt til að endurspegla

efnasamsetningu árinna án flóðaáhrifa. Það sýnir að styrkur málma fellur í flokk A, ósnortið vatn, og styrkur P-total fellur í umhverfisflokk B, lítið snortið vatn (Tafla 11). Ekki eru til upplýsingar um köfnunarefni (N-total og NH_4) í Köldukvísl, en út frá styrk þess neðar á vatnasviðinu má draga þá ályktun að styrkur þess sé lágur og líklega fellur hann í flokk A, ósnortið vatn.

Efnasamsetning Tungnaár við Hrauneyjafosstöð, Sporðöldulóns og útfallsvatns úr Búðahálsvirkjun var vöktuð 2012–2015 (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2016). Niðurstöður úr þeirri vöktun sýnir að styrkur málma og næringarefni falla í umhverfisflokk A, ósnortið vatn, nema styrkur P-total og PO_4 sem fellur í umhverfisflokk B, lítið snortið vatn (Tafla 11) eins og í Köldukvísl. Náttúrulegur styrkur fosfórs er hlutfallslega hár í gosbeltinu á Íslandi miðað við ómengið svæði víðast hvar, sökum þess hve berggrunnurinn er ungur og auðveðraður. Það má því segja að styrkbilin sem notuð eru til þess að flokka íslenskt vatn séu of lág fyrir fosfór, sem er hár frá náttúrunnar hendi.

Vatnsformfræðilegar breytur: Í þessari skýrslu var ekki hægt að flokka rennslishætti Köldukvíslar skv. EFC flokkuninni (Tafla 3) þar sem ekki hefur verið starfhæfur rennslismælir í ánni, þar til nú nýlega að nýr mælir var settur upp í Köldukvísl við Klifshagavelli, neðan Þórisóss. Mælirinn hefur mælt síðan 10. maí 2016 (Landsvirkjun, 2016b) og samkvæmt honum var rennsli í vorleysingum (10. maí til júníbyrjun) frá 10 til 55 m^3/s en sumarrennslið frá miðjum júní frá 5 til 10 m^3/s . Í lok september 2016 jókst rennsli aftur í allt að 18 m^3/s . Rennsli fór aldrei undir 5 m^3/s á þessum stað á tímabilinu sem rennslismælirinn hefur verið í rekstri og skv. Helgu P. Finnsdóttur hjá Landsvirkjun er vatn í farveginum allt árið. Meðalrennsli vatnsáranna 1992–1995 í Köldukvísl við Þveröldu var frá 22 til 27 m^3/s (Vatnaskil, 2002). Fyrir framkvæmdir á vatnasviði Köldukvíslar var jökulvatn í farvegi hennar en nú rennur þar oftast bergvatn.

Rennsli Köldukvíslar í farvegum tengdum lónum á vatnasviði Þjórsár og Tungnaár hefur verið metið út frá líkanreikningum á vatnafari svæðisins (Vatnaskil, 2002; Landsvirkjun, 2015). Samkvæmt reiknilíkaninu er rennsli (partial flow path = ómiðlað rennsli í miðlun eftir allar framkvæmdir) frá Hágöngulóni niður í farveg Köldukvíslar á milli 7 og 83 m^3/s , mest frá maí til júlí og minnst á veturna, frá janúar til mars. Í ljósi Vatnatilskipunar um að ástand vatns megi ekki hnigna er mjög mikilvægt að alltaf sé vatn í farvegi Köldukvíslar neðan Hágöngulóns, eins og raunin er. Samkvæmt líkanreikningum er hlutfall vetrar/sumarrennslis 1:8 eftir myndun Hágöngulóns. Skv. greiningu Vatnaskila (2002) var hlutfallið 1:3 í Köldukvísl við Sauðafell á árunum 1959 til 1964.

Aðrennsli til Þórisvatni er að stórum hluta komið úr grunnvatnsstraumum. Grunnvatnsstreymið er því meira sem vatnshæð í Þórisvatni er lægri (Vatnaskil, 2002), frá 10 m^3/s þegar Þórisvatn er í hæstu stöðu en allt að 45 m^3/s þegar vatnsstaða Þórisvatns er lág. Auk þess streyma frá 7 til 83 m^3/s vatns Köldukvíslar til Þórisvatns (Landsvirkjun, 2015). Rennsli Köldukvíslar við Sauðafell var frá 17 til 94 m^3/s á árunum 1959 til 1994 (Vatnaskil, 2002). Til samanburðar var sumarrennsli 25 sinnum hærra en vetrarrennsli Jökulsár á Dal á árunum fyrir virkjun árinna.

Vatn í Krókslóni og Hrauneyjalóni er komið úr Tungnaá, Köldukvísl og Þórisvatni, og Þjórsá um Kvíslaveitur. Þar hefur straumvatn verið beislað og breytt í stöðuvötn, sem hefur breytt aðstæðum lífríkisins þar mjög mikið. Fyrir myndun Hágöngulóns olli vatnsmiðlun

vatnsborðsbreytingum um 6–7 m í Krókslóni og 3–4 m á ári í Hrauneyjalóni (Landsvirkjun, 2017a) sem hafði neikvæð áhrif á lífríki fjörusvæðanna í lónunum. Eftir myndun Hágöngulóns árið 1997 hafa vatnsborðssveiflurnar minnkað. Í Sultartangalóni blandast allt vatn af vatnasviðunum saman, frá Köldukvísl, Tungnaá og Þjórsá. Sá hluti vatnsins sem hefur dvalið í öðrum lónum á leiðinni hefur minni styrk svifaurs heldur en sá hluti sem kemur beint úr Þjórsá, og því er vatn gruggugra í nyrðri hluta Sultartangalóns en í eystri hluta þess. Frá því að Sultartangavirkjun tók til starfa árið 2000 hefur vatnsborð í Sultartangalóni verið að sveiflast um 4 m sem er minni vatnsborðssveifla en í Krókslóni og Hrauneyjalóni (Landsvirkjun 2017a; 2017b). Þó lækkaði vatnsyfirborð snögglega um 7 m seinnipart júní 2010 þegar hleypt var úr lóninu til að gera við skemmdir á stíflumannvirki. Þess má geta að meðaldýpi í lóninu er 6 m og mesta dýpi 10 m (Benóný Jónsson o.fl., 2011). Það þýðir að stærsti hluti lónastæðisins hefur farið á þurrt í þessum atburði.

Sporðöldulón er inntakslón Búðahálsvirkjunar með litla miðlun. Vatnshæð í Sporðöldulóni er því fremur stöðugt yfir árið. Til Sporðöldulóns rennur vatn frá Hrauneyjafossstöð sem er ættað frá Þórisvatni og Tungnaá sem sameinast í Krókslóni og streymir áfram í gegnum Hrauneyjalón, Sporðöldulón og endar í Sultartangalóni. Að auki rennur vatn um Köldukvísl til lónsins. Rennsli er tryggt um farveg Tungnaár neðan Sporðöldulóns með linda- og lekavatni neðan Hrauneyjalóns sem veitt er áfram til farvegs Tungnaár neðan Sporðöldulóns (Benóný Jónsson, 2013). Það rennsli er bergvatn en fyrir myndun Sporðöldulóns féll Tungnaá með sínu jökulvatni um farveginn til Sultartangalóns.

Rennsli í farvegi Tungnaár á milli Krókslóns og Hrauneyjalóns er óstöðugt þar sem um yfirfallsfarveg úr Krókslóni er að ræða (sjá kafla 4.3.1; Mynd 14). Lágmarksrennsli í farveginum er um 5 m³/s sem er lekavatn frá Krókslóni (Mynd 17). Til ársins 2013 varð rennslið mest í júlí og ágúst, um 250 m³/s, en eftir árið 2013 er aðeins grunnrennsli í farveginum. Grunnrennslið er tært þar sem það er lekavatn og gruggið hefur að mestu síast frá. Mikilvægt er að halda rennsli vatns í farveginum þar sem vísbendingar eru um að það er mikilvægt fiskum til fæðuöflunar og jafnvel hrygningar (Benóný Jónsson, 2011).

Samantekt: Samkvæmt flokkunarlykli (Mynd 42) myndu Kaldakvísl og Hágöngulón líklega flokkast sem vatnshlot í mjög góðu ástandi því lífríki þar hefur aldrei verið mikið eða fjölbreytt. Hinsvegar myndi Þórisvatn fara í lakari flokk, hugsanlega „vatnshlot í sæmilegu ástandi“. Þetta er vegna þess að vatnsborðssveiflan er mikil (allt að 19 m) sem leiðir til skerðingar á lífríki á stórum svæðum á botni sem fer á þurrt (sbr. Vigfús Jóhannsson og Sigurður Már Einarsson, 1987) en strandsvæðin eru oft bestu framleiðslusvæðin í vötnum. Að auki eyðilögðust hrygningarstaðir urriða við stækkun Þórisvatns. Hægt væri að flokka Þórisvatn sem „mikið breytt vatnshlot“ (WDF CIS, 2000) þar sem ekki er líklegt að það gæti flokkast sem vatnshlot í „mjög góðu ástandi“ eða „góðu ástandi“ sökum mikilla vatnsborðsbreytinga.

Tungnaá ofan Krókslóns er öröskuð af manna völdum og flokkast því sem vatnshlot í „mjög góðu ástandi“.

Krókslón, Hrauneyjalón Sultartangalón og Sporðöldulón eru manngerð lón. Sem slík gætu þau fallið í flokk manngerðra vatnshlota (WDF CIS, 2000) ef gæðapættirnir gefa ekki tilefni til að þau gætu fallið í flokk vatnshlota í „mjög góðu“ eða „góðu ástandi“ (Mynd 42). Erfitt er að bera

saman líffræðilega gæðabætti í lónunum saman við ástandið eins og það var áður en þau voru mynduð, þar sem um er að ræða mikla vatnsformfræðilega breytingu úr straumvatni í stöðuvatn. Hins vegar er hægt er að miða ástand lífríkisins í lónunum við sambærileg viðmiðunar stöðuvötn. Enn er ekki búið að gera greiningarlykla fyrir lífríki í stöðuvötnum, en miðað við það sem liggur fyrir um stærð bleikju og urriða í jökulskotnum stöðuvötnum (Friðþjófur Árnason, 2014) lítur úr fyrir að stærð þessara tegunda miðað við aldur (sem er mælikvarði á skilyrði til vaxtar) í manngerðu lónum á Þjórsár–Tungnaárvæðinu sé um og yfir stærð þeirra í viðmiðunar vatnshlotunum. Þó virðist sem nýliðun sé erfið, sérstaklega fyrir urriða, sem endurspeglast í æ minnkandi veiði á sóknareiningu. Saman borið við viðmiðunarvatnshlot sést að stærð og fjöldi bleikja í þessum lónum er ekki frábrugðin óröskuðu vatnshlotum af sömu gerð. Hins vegar er fjöldi urriða minni í lónunum en í viðmiðunarvatnshlotunum þó stærð hvers urriða sé heldur meiri í lónunum en í jökulskotnum viðmiðunarvatnshlotum. Þar sem fiskrannsóknir í lónunum hafa verið mjög stopular er þó erfitt að draga af þessu miklar ályktanir auk þess sem og viðmiðunargildin eru fá (Friðþjófur Árnason, 2014). Nauðsynlegt er að vakta lífríki í lónunum þéttar en verið hefur til að geta metið betur hvert stefnir og hvort lífríki í lónunum hefur náð einhverskonar jafnvægi.

5.1.3 Þjórsá neðan Sultartanga að útrennsli Búrfellsvirkjunar

Útfall Sultartangavirkjunar er leitt í skurði að Bjarnalóni, samsíða farvegi Þjórsár neðan Sultartangavirkjunar. Lífríki hefur lítið verið rannsakað í þessum hluta farvegarins en þó hafa búsvæði fyrir fiska verið metin í farvegi Bjarnalæks og Þjórsár meðfram Búrfelli (Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson, 2012; 2013). Efnasamsetning Þjórsár við Sandafell var rannsökuð á árunum 1996 til 1997, áður en Sultartangavirkjun var gangsett (Tafla 10; Sigurður Reynir Gíslason o.fl., 1997; 1998). Styrkur málma og næringarefna var í flokki A, ósnortið vatn, nema styrkur PO_4 sem féll í flokk B, af þeirri ástæðu að styrkur fosfórs er hærri í yfirborðs- og grunnvatni í gosbeltinu á Íslandi frá náttúrunnar hendi en víða annarsstaðar á jörðinni.

Rennsli um farveg Þjórsár neðan Sultartanga, niðurfyrir Búrfell að frárennsli Búrfellsstöðvar er mjög óstöðugt þar sem yfirfall frá Sultartangalóni fer um farveginn. Farvegurinn er nánast þurr stóran hluta ársins en hæstu rennslistopparnir eru um $500 \text{ m}^3/\text{s}$ (Mynd 18 og Mynd 20). Farvegurinn frá Sultartangavirkjun að Tröllkonuhlaupi er um 200 m breiður og flatbotna, sem þýðir að einungis þarf fremur lítið rennsli vatns um farveginn til að auka mikið möguleika á lífrænni framleiðni á þessum kafla árinna, þar sem búsvæði fyrir seiði laxfiska hafa verið metin góð (Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson, 2013). Það væri hægt að viðhalda rennsli á farveginum með því að hleypa vatni framhjá Sultartangavirkjun.

Ljóst er að lífríki í farvegi Þjórsár neðan við Sultartangavirkjun að Bjarnalóni hefur hnignað frá því áður en rekstur Sultartangavirkjunar hófst árið 2000 og eins í farveginum frá Ísakoti að Þjófafossi frá því að Búrfellsvirkjun tók til starfa árið 1969 og í . Vatnshlotin geta því ekki fallið í flokk með vatnshlotum í „mjög góðu ástandi“ eða „góðu ástandi“. Líklegt er að best væri að setja vatnshlotið í flokk með mikið breyttum vatnshlotum og leitast við að ná eins góðu vistmegin og hægt er (WDF CIS 2000; sjá kafla 1.2) með því að tryggja ákveðið lágmarksrennsli í farveginum og að hafa rennslissveiflur eins jafnar og rennslishraða eins hægan og kostur er. Farvegurinn neðan Þjófafoss er fiskgengur og í honum, ofan útfalls Búrfellsvirkjunar að

Þjófafossi, er talsvert grunnrennsli (Hákon Aðalsteinsson pers. upplýsingar) sem getur staðið undir einhverju lífríki. Eins og áður segir er farvegurinn neðan Sultartangavirkjunar flatur og flatarmál hans mikið, sem gæti staðið undir mikilli lífrænni framleiðslu ef stöðugt væri vatn rennandi í honum. Bent hefur verið á að nýta megi farveginn neðan Ísakots til framleiðslu á laxaseiðum sem mótvægi við skerðingu búsvæða vegna fyrirhugaðra virkjana í Þjórsá neðan Búrfells (Benóný Jónsson og Magnús Jóhannsson, 2012).

5.1.4 Þjórsá neðan Búrfells

Líffræðilegar breytur: Eins og fjallað var um í kafla 4.5.3.1 hefur seiðapétteleiki laxaseiða aukist í Þjórsá neðan Búrfellsvirkjunar, í kjölfar aukinnar fiskgengdar ofan Búðafoss. Landnámi ofan Búða var hraðað með sleppingu laxaseiða. Mat á vistfræðilegu ástandi Þjórsár neðan Búrfells, byggt er á pétteleika 1⁺ og 2⁺ laxaseiða í Þjórsá ofan og neðan Búða, gefur til kynna ástand lífríkisins falli oftast í flokkinn „ágætt“ sem lýsir besta ástandi vatnshlota, ef miðað er við viðmiðunarvatnshlot með sömu gerðargreiningu (Tafla 14; Þórólfur Antonsson o.fl. 2014). Árin 2003 og 2007 var ástand lífríkisins í flokknum „gott“ í Þjórsá neðan Búða. Á fyrstu árunum eftir að fiskvegurinn við Búða var gerður var ástand lífríkisins í „meðallagi“ í Þjórsá ofan Búða. Eftir árið 2006 hefur ástand lífríkisins í Þjórsá ofan Búða verið í flokknum „ágætt“ (Tafla 14).

Mælingar á pétteleika urriðaseiða benda til að urriða hafi fækkað í Þjórsá og þverám hennar á síðustu árum (Mynd 40). Er það á sama tíma og seiðapétteleika laxa jókst. Líffræðilegir gæðapættir sýna oft ekki sömu niðurstöðuna því þeir eru háðir fleiri þáttum en breytingum á rennsli vatnshlotanna, oft þáttum sem verða samtímis rennslisbreytingunum eins og fjallað er um í kafla 3.1. Aukið aðgegni laxa upp fyrir Búðafoss hefur aukið búsvæði laxa en aukið samkeppni við tegundir sem voru fyrir á svæðinu s.s. urriða. Þrátt fyrir að pétteleiki urriðaseiða hafi minnkað á undanförunum árum er pétteleiki þeirra meiri en í RIL111, þeirri vatnshlotagerð sem Þjórsá fellur í (Þórólfur Antonsson o.fl., 2014).

Eðlis-efnafræðilegar breytur: Styrkur uppleystra efna og svifaura í Þjórsár hefur verið vaktað við Urriðafoss frá 1996 til dagsins í dag (Tafla 10); Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2016). Styrkur málma og næringarefna var í flokki A, ósnortið vatn, nema styrkur PO₄ sem féll í flokk B, af þeirri ástæðu að styrkur fosfórs er hærri í yfirborðs- og grunnvatni í gosbeltinu á Íslandi frá náttúrunnar hendi en víðast hvar annarsstaðar.

Vatnsformfræðilegar breytur: Eins og sést á Mynd 24 hefur rennslismynstur Þjórsár við Krók (Urriðafoss) eftir virkjanir jafnast út yfir árið. Lágrennsli hefur hækkað og hárennsli lækkað (Mynd 28). Rennslisbreytingin er sérstaklega mikil eftir myndun Hágöngulóns árið 1997 (Mynd 30). Við það jókst rennsli enn frekar á veturna og minnkaði á vorin og sumrin. Tíðni lítilla flóða, sem voru algengir á vorin, hefur minnkað mikið og voru þau aðeins fjögur frá 1997 til 2015, eða 0,2 flóð á ári miðað við um 0,64 flóð á ári fyrir 1997, enda er vorrennsli í farveginum mun minna en það var fyrir 1997 (Mynd 30). Fimm stór flóð hafa orðið í Þjórsá síðan mælingar hófust við Krók 1958, þar af varð eitt stórflóð í desember 2006. Það koma því enn stórflóð í Þjórsá þó að litlum flóðum hafi fækkað eftir virkjun árinna.

Rennsli í Þjórsá við Krók er að mestu takmarkað við tvo rennslisflokka eftir árið 1997: meðal-lágrennsli og hárennslispúlva. Rennslisflokkarnir tveir sem einkenna rennsli Þjórsár, meðal-

lágrennsli og hárennslispúlsar, eru líklega mikilvægastu rennslisform straumvatna fyrir vatnalífverur þar sem meðal-lágrennsli skapar búsvæði við hæfi vatnalífvera á svæðinu og viðheldur eðlis-efnafræðilegum aðstæðum í staumvatninu, og hárennslitoppur sjá um að viðhalda farvegum og hreinsa þá af seti af lífrænum og ólífrænum toga (Tafla 3).

Fjöldi viðsnúninga (e. reversals) í rennsli Þjórsár við Krók hefur aukist með tímanum eftir virkjun (Kafli 4.1.5, Mynd 28). Eftir gangsetningu Sigölduvirkjunar árið 1976 minnkaði hraði rennslisaukningar að meðaltali úr 25 m³ í 15 m³ frá einum degi til annars og hraði rennslislækkunar jókst að sama skapi. Hraði rennslisbreytinga hefur ekki breyst frá 1976 til 2015 þótt viðsnúningum hafi fjölgað. Rennslissveiflur í Þjórsá eru semsé tíðari eftir virkjanir en við náttúrulegt rennsli auk þess sem hraði þeirra hefur breyst. Líklegast er að rennslisbreytingarnar séu til komnar vegna rennslisstjórnunar í tengslum við virkjanirnar þó að loftslagsbreytingar geti einnig skýrt svona breytingar. Snöggar útleysingar vatns framhjá stíflum getur valdið álagi á lífríki en svo virðist sem rennslisaukning eftir virkjun séu hægari en náttúruleg rennslisaukning, sem ætti því ekki að hafa neikvæð áhrif á lífríkið. Aukinn hraði rennslisminnkunar er líklegri til að hafa neikvæð áhrif á lífríki þar sem hætta er á að hreyfanlegar lífverur verði eftir á þurru landi við rennslislækkunina – sjá umfjöllun á áhrifum rennslisstýringa á vistkerfi Sogs (Magnús Jóhannsson o.fl., 2012).

Útleysingu vatns úr jökulskotnum lónum fylgir útskolun á miklu magni svifaus sem veldur álagi á það lífríki sem hefur aðlagast breyttum aðstæðum í Þjórsá eftir virkjun. Aukið grugg til langs tíma veldur vaxtarskerðingu hjá seiðum í Þjórsá (Benóný Jónsson og Magnús Jóhannsson, 2011), sem líklega kemur einnig fram hjá lífverum á lægri þrepum fæðukeðjunnar. Ekki hefur verið sýnt fram á að skammtímaaukning á gruggi í Þjórsá valdi miklum neikvæðum áhrifum á vöxt seiða, eða aðrar lífverur í vatni. Gera má ráð fyrir að þau sé einhver og að tíðni og tímalengd skipti þar meginmáli. Einnig getur skammtímaaukning á gruggi í ánni valdið töfum á göngum laxfiska. Tafir á seiðagöngu geta valdið auknum afföllum seiða (t.d. Magnús Jóhannsson o.fl., 2002).

Ekki hafa verið gerð viðmið um vistrennsli í íslenskum straumvötnum. Viðmið sem notuð eru í Austurríki um vistrennsli (kafli 3.3.1) segja að straumvatnshlot hafi möguleika á að flokkast sem vatnshlot í „mjög góðu ástandi“ ef rennslisbreytingar af mannavöldum víkja aðeins lítillega frá náttúrulegu rennsli. Leiðbeinandi mörk eru að vatnsnotkunin sé ekki meiri en 20% af árlegu vatnsmagni straumvatnsins. Eins og fram kemur í kafla 2.1 er um 20% af árlegu vatnsmagni Þjórsár geymt í uppistöðulónum á vatnasviðinu sem bendir til að rennslið geti flokkast undir vistrennsli ef miðað er við austurrísku leiðina. Frekari viðmið varðandi vistrennsli í Austurríki eru að rennsli má ekki fara undir meðalrennsli vetrarmánaða frá október til mars og frá apríl til september þarf rennslið að vera meira en árlegt meðalrennsli. Rennsli Þjórsár frá október til mars er yfir náttúrulegu meðalrennsli yfir vetrartímann (Mynd 30) og yfir árlegu meðalrennsli (~342 m³/s) frá maí til september. Í apríl er meðalrennsli nálægt ársmeðalrennslinu, en leysingar byrja seinna á Íslandi en í Austurríki. Samkvæmt skilyrðum um vistrennsli í Austurríki myndi rennsli Þjórsár við Krók flokkast sem vistrennsli (e-flow).

Þrátt fyrir að breytingar hafi orðið á rennsli Þjórsár eru helstu rennslishættir til staðar neðan Búrfells og ef marka má laxastofn árinna er lífríkið í sókn (Mynd 39). Hins vegar hefur þéttleiki

urriðaseiða minnkað í kjölfar aukinnar laxgengdar á vatnasviði Þjórsár neðan Búrfells, en er þó ofan meðalþéttleika í viðmiðunarvatnshlotum (Þórólfur Antonsson o.fl., 2014).

Útleysing á mjög gruggugu lónvatni veldur neikvæðum áhrifum á lífríki árinna, hvort sem um er að ræða frumframleiðendur, hryggleysingja og fiska í ánni. Það ber því að að forðast útleysingu og, þó sérstaklega langvarandi útleysingu á mjög gruggugu lónvatni, líkt og gerðist sumarið 2010. Eins þarf að gæta þess eins og kostur er að hafa rennslisbreytingar eins hægar og kostur er til að forðast að lífverur skolist út af vatnasviðum í útleysingum eða þorni upp við skyndilega rennslisminnkun.

Samantekt. Þessi gögn um eðlis-efnafræðilega, vatnsformfræðilega og líffræðilega gæðabætti, ef miðað er við seiðabéttleika laxa, í Þjórsá neðan Búrfells gefa til kynna að hægt sé að flokka vatnshlotið sem „vatnshlot í mjög góðu ástandi“ skv. flokkunarlykli á Mynd 42. Þrátt fyrir að þéttleiki urriðaseiða hafi minnkað á undanförunum árum er hann meiri en meðalþéttleiki í viðmiðunarvatnshlotum og ef miðað væri við þann líffræðilega gæðaflokk myndi Þjórsá einnig flokkast sem „vatnshlot í mjög góðu ástandi“. Hægt er að heimfæra rennslisaðstæður í Þjórsá við Krók ofar á vatnasviðið, alla leið upp að Búrfelli.

5.2 Hvort hefur loftslag eða virkjanir haft meiri áhrif á rennsli Þjórsár?

Rennsli jökuláa er mjög breytilegt yfir árið, er að jafnaði mjög lítið á veturna en getur orðið mjög mikið á sumrin eftir að bráðnun jökla hefst. Þjórsá er blanda af dragavatni, jökulvatni og grunnvatni (Sigurjón Rist, 1990) þannig að árstíðasveifla rennslis er ekki eins mikil og í hreinum jökulám eins og t.d. Jökulsá á Dal var fyrir virkjun (Mynd 5).

Rennslisbreytingar eru ekki einungis manngerðar heldur hefur lofthiti mikil áhrif á árstíðasveiflur rennslis. Lofthiti hefur áhrif á loftraka og þar með úrkomu, en einnig á það hvort úrkoma fellur sem rigning eða snjór. Lofthiti hefur og áhrif á bráðnun jökla. Aukinn lofthiti veldur minni uppsöfnun snævar á vatnasviðum og því minni vorleysingum, og eins getur tímasetning vorleysinga færst framar á árið. Loftslag hefur því mikil áhrif á afkomu jökla og þar með rennsli jökuláa.

Lofthiti á Íslandi hefur hækkað frá því á fyrri hluta níunda áratugs síðustu aldar þar til nýlega (Veðurstofa Íslands, 2016b; 2016c). Hröðust var hlýnunin á árunum 1998 til 2003. Hlýnun loftslags á undanförunum árum hefur haft áhrif á rennsli Þjórsár, eins og annarra jökuláa á Íslandi.

Áhrif lofthita á rennsli jökuláa var kannaður með því að nota ótruflað rennsli í Jökulsá á Dal (1998–2003) (Veðurstofa Íslands, 2005). Sú athugun sýndi að vaxandi meðalárshiti hafði mikil áhrif á rennsli árinna, rennslisaukningu, sérstaklega á vorin (mars–apríl) og haustin (september–nóvember) og minnkandi rennsli í maí, sökum þess að hlánun hefst fyrir í hlýjum árum en köldum. Minni fylgni var á milli meðalárshita og ótruflaðs sumarrennslis Jökulsár á Dal, þó svo að hún hafi vissulega verið til staðar. Hækkun meðallofthita um 1 °C jók meðalrennsli Jökulsár á Dal í apríl 1998–2003 um 67% og minnkaði meðalrennsli í maí um -40% á sama tímabili. Aukning lofthita um 1°C olli rennslisaukningu um 11, 12 og 10, 22 og 61% í júní, júlí, ágúst, september og október, en lítil fylgni var þó á milli meðalhita og rennslis í júní og ágúst. Mest varð mánaðarmeðalrennsli Jökulsár á Dal í ágúst árið 2003, þegar meðaltal

mánaðarlofthita varð hæst yfir það tímabil sem kannað var. Af þessu má því draga þá álykun að aukinn lofthiti fletji út árstíðabundnar sveiflur í rennsli jökuláa (Mynd 5), og að minni munur sé á vetrar- og sumarrennsli í hlýjum árum en köldum.

Spurningin er hvort hægt sé að greina á milli áhrifa loftslags og virkjunarframkvæmda á rennsli í Þjórsá, neðan virkjana. Kannað var hvort meðalhiti ársins í Reykjavík (Veðurstofa Íslands, 2016b) hefur haft áhrif á miðgildi mánaðarrennslis Þjórsár við Krók (Landsvirkjun, 2016a) á mismunandi tímabilum. Ákveðið var að nota lofthita í Reykjavík þar sem sú gagnaröð er mjög löng og nær yfir sama tímabil og rennslisröðin í Þjórsá við Krók. Samanburður á lofthitagögnum frá Reykjavík og Hjarðarlandi (Veðurstofa Íslands, 2016c) er mjög góður ($R^2 = 0,96$), en meðalhiti hvers árs er um 1°C lægri (staðalfrávik = 0,12) við Hjarðarland en í Reykjavík.

Rennslisröðum úr Þjórsá við Krók var skipt upp eftir tímabilum í þrennt: 1) 1959–1969 fyrir virkjanaframkvæmdir, 2) 1969–1997 fyrir Sultartangalón og Hágöngulón, 3) 1998–2014, þegar flestum framkvæmdum var lokið en loftslag hlýnaði mjög mikið. Þetta er svipuð skipting og var gerð í athugunum á vistrennsli Þjórsár við Krók í kafla 4.1.5 (Mynd 30). Áhrif meðalárshita á rennsli hvers mánaðar (Tafla 9) var athugaður yfir þessi þrjú tímabil til að kanna hvort, og þá hvernig, lofthiti hefði áhrif á rennslismynstur árinna.

Áhrif lofthita á rennsli var reiknað með því að nota jöfnu línulegs sambands á milli þessara tveggja breyta og reikna áhrifin út frá því. Fylgni (R^2) lofthita og mánaðarrennslis er yfirleitt fremur lítil, frá því að vera engin upp í 0,29. Þrátt fyrir þessa annmarka eru jöfnurnar notaðar til þessara reikninga, þar sem þetta er það næsta sem komist verður í athugunum á áhrifum loftslagsbreytinga á rennsli. Mesta fylgni var á milli lofthita og meðalrennslis í október og mars 1959–1969, á milli lofthita og meðalrennslis í október 1969–1997 og í febrúar, mars og júní 1998–2014. Niðurstöðurnar eru birtar í Tafla 16.

Tafla 16. Áhrif loftslagsbreytinga á rennsli Þjórsár við Krók yfir þrjú tímabil, fyrir virkjun 1959–1969, 1969–1997 fyrir myndun Þjórsárlóns og Hágöngulóns, og 1998–2014 eftir flestar framkvæmdir en á tímabili mikillar hlýnunar lofthita. *The effect of climate change on discharge of Þjórsá at Krók during three timeperiods; before damming 1959–1969, before construction of Þjórsárlón and Hágöngulón reservoirs 1969–1997, and after completing most constructions 1998–2014, during a period of increased air temperature.*

Tímabil	Rennslisbreytingar í Þjórsá við Krók (%) vegna breytinga á lofthita um 1°C^*											
	Okt.	Nóv.	Des.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maí	Jún.	Júl.	Ág.	Sept.
1959–1969	33,8	9,0	20,7	33,2	24,3	35,0	3,6	22,9	-41,5	10,8	-4,1	-6,8
1969–1997	10,8	4,8	4,2	14,3	4,5	9,1	2,8	-8,6	-6,1	-0,9	-1,7	1,2
1998–2014	5,1	3,4	3,5	3,2	8,6	5,9	9,8	-3,0	10,7	6,8	13,7	-1,4

*Meðalhitastig í Reykjavík - sjá texta

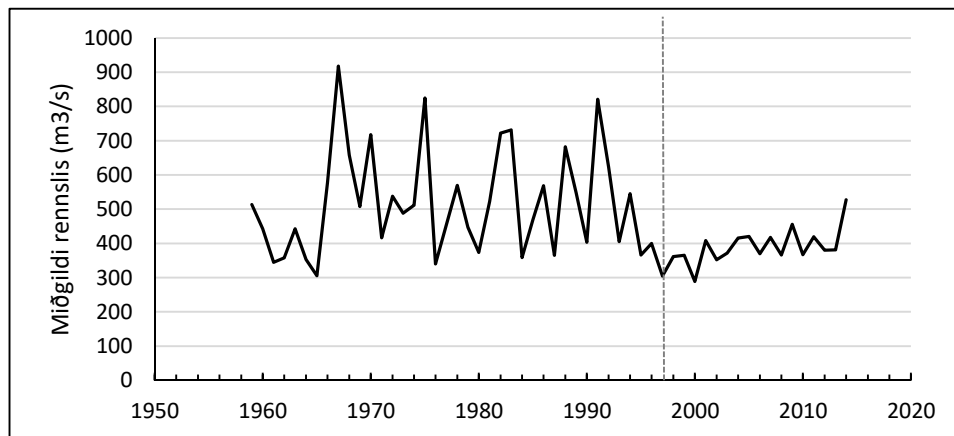
Fyrir virkjun, 1959–1969, voru rennslissveiflur miklar í Þjórsá við Krók (Mynd 24). Hæsti ársmeðalhiti á þessu tímabili var $5,7^\circ\text{C}$ og lægsti var $4,0^\circ\text{C}$. Mestar voru rennslissveiflurnar vegna loftslagsbreytinga á haust- og vetrarmánuðum og í maí. Hækkun lofthita um 1°C jók rennsli alla mánuði ársins nema í júní þar sem aukning lofthita olli mikilli lækkun rennslis (-41%, Tafla 16). Eins varð lítilsháttar lækkun í ágúst og september. Í mildum árum fellur meiri hluti úrkomu sem regn heldur en í köldum árum. Eins eru umhleyppingar tíðari í mildum árum en hörðum, sem veldur minni uppsöfnun snævar á vatnasviðinu og þar með minni vorleysingar.

En jökulleysing í mildum árum er meiri en í köldum árum og því er sumarrennsli ótruflaðra jökuláa meira en í hörðum árum.

Á öðru tímabilinu sem athugað var, 1969–1997, sést að áhrif loftslagsbreytinga á rennsli eru minni eftir að virkjanaframkvæmdir hófust á vatnasviðinu (Tafla 16). Hæsti meðalhiti á þessu tímabili var 5,4°C og lægsti var 2,8°C. Eins og áður (fyrir virkjanir), voru áhrif loftslags mest á haust- og vetrarmánuðum og þá jókst rennsli með hækkandi lofthita (um 4–10% pr. °C). Loftslagsbreytingar höfðu lítil áhrif á rennsli Þjórsár við Krók í júlí–september 1969–1997 en aukinn lofthiti olli lítillsháttar lækkun rennslis í maí–ágúst á tímabilinu.

Á þriðja tímabilinu, 1997–2014, má sjá að áhrif lofthita hefur dæmpt enn meira út en á öðru tímabilinu. Hæsti meðalhiti á þessu tímabili var 6,1°C og lægsti var 4,5°C. Aukningar rennslis um 3–5% pr. °C gætti í okt.–jan., um 6–10% pr. °C í feb.–apr. Óveruleg lækkun rennslis varð vegna aukningar lofthita í maí og september en hækkun yfir sumarmánuðina um 7–14% pr. °C.

Áhrif virkjunarframkvæmda á vatnasviðinu á tímabilinu 1997–2000 (Sultartangavirkjun og Hágöngulón) má sjá glögglega á júnírennsli Þjórsár við Krók eftir 1997 (Mynd 43). Fyrir þær framkvæmdir var rennsli í júnímánuði mjög sveiflukennt en hefur jafnast mjög mikið úr eftir að framkvæmdum lauk. Söfnun Köldukvíslar í Hágöngulón er líklega ástæðan fyrir þessari miklu breytingu á júnírennsli í Þjórsá, en miðlunargeta Hágöngulóns er 322 Gl (Tafla 2). Til samanburðar er miðlunargeta Krókslóns og Sultartangalóns 150 og 102 Gl (Hugrún Gunnarsdóttir, 2016). Hugsanlega má skýra hæga aukningu júnírennslis eftir 1997 sem afleiðingu hækkandi lofthita á tímabilinu, sem er þá 10% pr. 1°C (Tafla 16 og Mynd 43). Nýleg rannsókn sýnir að meðalársrennsli Jökulsár á Dal við Hjarðarhaga eykst um 8% pr. 1°C hækkun lofthita (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2015) sem styður við þá kenningu að aukning í júnírennsli í Þjórsá sé til komin vegna loftslagsbreytinga.



Mynd 43. Miðgildi rennslis júnímánaðar í Þjórsá við Krók frá 1959 til 2014. Brotna línan á myndinni markar tímasetningu á framkvæmdum við Hágöngulón. Júnírennsli hefur jafnast út eftir framkvæmdirnar sökum meiri miðlunar á vatnasviðinu, sérstaklega vegna söfnunar vatns úr Köldukvísl í Hágöngulón. *Monthly median discharge of Þjórsá at Krók in June 1959–2014. The discharge in June has been levelled out because of increased water mediation on the catchment.*

Rennsli Þjórsár hefur sífellt verið að jafnast yfir árið og hingað til hefur það að miklu leyti verið útskýrt með loftslagsbreytingum, þ.e. auknum lofthita (Veðurstofa Íslands, 2016d). Út frá þessari greiningu á áhrifum loftslags á rennsli Þjórsár við Krók má sjá að aukin miðlun vatns á

vatnasviðinu hefur minnkað áhrif loftslagsbreytinga á rennsli Þjórsár við Krók. Því má draga þá ályktun að virkjanir á vatnasviðinu og síaukin miðlun vatns, sérstaklega við myndun Hágöngulóns, hafi haft meiri áhrif á árstíðabundnar sveiflur í rennsli Þjórsár við Krók en loftslagsbreytingar.

5.3 Líkleg þróun lífríkis í Þjórsá miðað við núverandi ástand

Eftir virkjun á Þjórsá ofan Búrfells og Tungnaár hafa rennissveiflur og aurframburður minnkað í Þjórsá neðan Búrfells, og þar með hefur náttúrulegt álag á lífríki minnkað. Álag á vatnakerfi kemur nefnilega ekki aðeins til af mannavöldum, það er oft mikið álag á orkumiklum landssvæðum þar sem landmótun er mikil, t.d. á vatnasviðum jökuláa.

Gera má ráð fyrir að minnkun álags af náttúrunnar hendi vegna vatnsmiðlunar, feli í sér að nýjar lífverutegundir geti numið land á búsvæðum í virkjuðum jökulám sem hentuðu ekki á meðan jökulánnar voru óbeislaðar. Eins má gera ráð fyrir að þolnar tegundir sem voru áður á vatnasviði jökulánna láti undan í samkeppni við nýjar tegundir.

Við óbreytta raforkuframleiðslu og vatnastjórnun á vatnasviði Þjórsár má gera ráð fyrir að lífríkið haldi áfram að þróast í þá átt sem það gerir í dag. Landnám lax í Þjórsá ofan Búða heldur vísast til áfram þar til búsvæðin fara að verða takmarkandi. Vegna þess er ekki ólíklegt að þéttleiki urriðastofnsins minnki, þar sem þessar tegundir eru í samkeppni um búsvæði og fæðu. Vísbendingar um minnkandi þéttleika urriða eru þegar sjáanlegar (Mynd 40).

Minnkun svifaurs í Þjórsá neðan Búrfells veldur auknu rýni í vatninu, sem aftur eykur möguleika frumframleiðandi lífvera í Þjórsá. Þær eru undirstöðufæða fyrir smádýr (hryggleysingja), sem aftur eru fæða fyrir fiska. Aukið rýni hefur því bein áhrif á framleiðslugetu árinna, að því gefnu að framboð ólífrænna næringarefna sé til staðar.

Þetta er líkleg þróun lífríkisins að því gefnu að rekstur virkjana verði með þeim hætti að hann valdi ekki skyndilegu álagi á lífríki, s.s. langtíma útlosun á mjög gruggugu vatni úr lónum ofar á vatnasviðinu eða óvenju mikilli útleysingu vatns úr lónum og þar með hröðum rennislisbreytingum árinna.

Þessar hugleiðingar um líklega þróun lífríkis í Neðri Þjórsá gera ráð fyrir óbreyttu ástandi vatnsfallsins miðað við hvernig það er í dag. Í rammaáætlun eru hins vegar til umfjöllunar tvær virkjanir í Þjórsá neðan Búrfells, Holtavirkjun (57 MW) og Urriðafossvirkjun (140 MW) (<http://www.amma.is/rammaaetlun/3.-afangi/virkjunarkostir-i-3.-afanga/> 26.04.2017). Við gerð þeirra yrðu búin til tvö lón, Árnslón (4,6 km²) og Heiðarlón (8,3 km³). Holtavirkjun er fyrirhuguð ofan Búðafoss og Urriðafossvirkjun ofan við Urriðafoss, rétt við brúarstæði á Þjórsá við þjóðveg #1. Heiðarlón, inntakslón Urriðafossvirkjunar, mun teygja sig upp eftir farvegi Þjórsár 10–11 km leið. Ekki verður um neina miðlun að ræða en líklegt er að mannvirkin í tengslum við virkjunina og lónin muni hafa áhrif á hrygningu, uppeldi og far laxfiska í Þjórsá, og þar með á möguleika þeirra í Þjórsá. Hér verður ekki fjallað meira um áhrif þessara virkjana á lífríki Þjórsár en vísað í áður birtar skýrslur sem fjalla um efnið (Hnit hf. 2003; Hákon Aðalsteinsson o.fl., 2012; Magnús Jóhannsson o.fl., 2008; Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson, 2014).

5.4 Mótvægisáðgerðir á Þjórsár–Tungnaársvæðinu

Líta má á að fiskstiginn við Búðafoss sé nokkurskonar mótvægisáðgerð sem farið var í vegna virkjunar Þjórsár. Líklega er þó fremur hægt að segja að hann hafi verið snemmbúin mótvægisáðgerð gegn skerðingu búsvæðis vegna fyrirhugaðra virkjana í Þjórsá neðan Búrfells (Hákon Aðalsteinsson o.fl., 2012).

Við hönnun Búðarhálsvirkjunar og framkvæmdir í tenslum við hana var lögð áhersla á að viðhalda grunnvatnsrennsli í farvegi Tungnaár neðan Hrauneyjalóns, í stað þess að beina því til Sporðöldulóns. Það vatn stendur undir mikilvægum búsvæðum fyrir bleikju (Benóný Jónsson o.fl., 2016).

Ein af þeim mótvægisáðgerðum sem mögulegar eru til að auka líkurnar á því að farvegur Þjórsár neðan Sultartanga niður að útfalli Búrfellsvirkjunar nái að flokkast sem „mikið breytt vatnshlot“ með „góðu vistmegin“ er að hleypa vatni á farveginn sem gæti staðið undir því lágmarksrennsli sem nýtist lífverum á svæðinu. Farvegurinn er breiður og getur staðið undir töluverðri lífrænni framleiðslu. Sú framleiðsla er hinsvegar takmörkuð eins og vatnsmiðlunin er í dag, því farvegurinn er nánast þurr stóran hluta ársins (Mynd 22).

Ef til kæmi að virkjanir á vatnasviði Þjórsár neðan Búrfells yrðu byggðar, yrði mjög mikilvægt að ráðast í viðamiklar mótvægisáðgerðir til að tryggja vistfræðilegt ástand árinna. Í skýrslu Magnúsar Jóhannssonar o.fl. (2008) er fjallað sérstaklega um mótvægisáðgerðir vegna fyrirhugaðra virkjana, Holtsvirkjun og Urriðafossvirkjun, sem koma til með að hafa áhrif á hrygningu, uppeldi og far fiska. Þar er sérstaklega fjallað um mikilvægi þess að viðhalda rennsli, tryggja fiskgöngur upp ánna með fiskvegum og seiðagöngur niður ánna með seiðafleytum, ásamt því að gæta þess að velja hverfla sem valda sem minnstum skaða á fiski sem í þeim lenda (Magnús Jóhannsson o.fl., 2008).

5.5 Hvað vantar uppá ?

Flokkun vatnshlota og ástandsmat þeirra skv. Vatnatilskipun krefst skilgreindra viðmiða á lykilþáttum sem notaðir eru við flokkunina. Það eru líffræðilegir gæðapættir, eðlis-efnafræðilegir gæðapættir og rennsliþættir. Það þarf að skilgreina viðmið fyrir alla þessa lykilþætti sem eiga við á Íslandi. Eins og fram hefur komið í þessari umfjöllun var hafist handa við skilgreiningar á þessum þáttum fyrir nokkrum árum en hefur ekki verið lokið. Mikilvægt er að ljúka við þessa vinnu til að hægt sé að taka upp það regluverk sem Vatnatilskipun rammar inn og miðar að því að koma í veg fyrir hnignun vatnalífríkis.

Vatnatilskipun miðar að því að stefnt sé að því að öll vatnshlot falli í annanhvorn ástandsflokkinn „gott“ eða „mjög gott“. Ef um er að ræða manngerð eða mikið breytt vatnshlot er oft ekki hægt að miða við lífríki í náttúrulegum vatnshlotum. Þá er hægt að skilgreina vatnshlotin sem „manngerð“ eða mikið breytt vatnshlot. En þrátt fyrir það verður að leitast eftir því að ná sem bestu ástandi vatnshlotsins m.t.t. líffræðilegra og eðlis-efnafræðilegra gæðapátta. Mat á líffræðilegum gæðapáttum í manngerðum eða mikið breyttum vatnshlotum á vatnasviði Þjórsár t.d. í uppistöðulónum á vatnasviðinu, er undirstaða þess að geta metið ástand vatnshlota m.t.t. viðmiðun Vatnatilskipunar. Koma þyrfti á reglulegri vöktun á lífríki lónanna, á þörungum,

smádýrum og fiskum til að geta metið hvort lífríki innan vatnshlotanna nái því ástandi sem ætlast er til af Vatnatilskipuninni.

Hvort sem um er að ræða náttúruleg eða mikið breytt/manngerð vatnshlot er mikilvægt að vakta efnasamsetningu vatns í ám og vötnum með tilliti til þeirra efna sem talin eru upp í VIII viðauka í Vatnatilskipun (Tilskipun Evrópuþingsins og ráðsins 2000/60/EB, Stjórnartíðindi EB frá 22/12/2000 á bls 68) og er leiðbeinandi skrá yfir helstu mengunarvalda.

Mjög litlar rannsóknir hafa farið fram á lífríki í farvegum á vatnasviðinu með skertu rennsli, eins og t.d. farvegi Þjórsár neðan Sultartangavirkjunar niður fyrir Búrfellsvirkjun. Þar þarf að auka þekkingu með rannsókum til að sjá hvernig lífríkið bregst við skertu og breyttu rennsli vegna virkjana. Út frá þeim niðurstöðum ætti að vera hægt að fá fram viðmið fyrir vistrennsli.

Þakkarorð

Landsvirkjun kostaði rannsóknina og hafa fulltrúar henna sýnt verkefninu mikinn áhuga, stuðning og liðlegheit. Sérstakar þakkir fær Sveinn Kári Valdimarsson. Einnig Helga P. Finnsdóttir og Úlfar Linneth sem útveguðu vatnafræðileg gögn, Theodór Theodórsson sem gerði kort og langsnið farvega sem eru í þessari skýrslu og útvegaði upplýsingar um stærð vatnasviða. Benóný Jónsson á Hafrannsóknastofnun tók saman gögn um seiðarannsóknir og niðurstöður ljósgleypnimælinga og hitamælinga í Neðri Þjórsá sem birt eru í þessari skýrslu. Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson lásu yfir skýrsluna og bættu á margvíslegan hátt. Einnig fær samstarfsfólk á Veiðimálastofnun, seinna Hafrannsóknastofnun, bestu þakkir fyrir samstarfið, spjall og ráðagerðir við vinnslu skýrslunnar.

Heimildir

- Agnes Eydal og Sólveig R. Ólafsdóttir 2007. Sjór og svifgróður í Mjóafirði. Náttúrufræðingurinn 75 (1). Bls. 51–59.
- Aller, R. (1998) Mobile deltaic and continental shelf muds as suboxic, fluidized bed reactors. *Mar.Chem.*, 61, 143–155.
- Arsouze T., Dutay J.-D., Lacan F., Jeandel C. (2009) Reconstructing the Nd oceanic cycle using a coupled dynamical-biogeochemical model. *Biogeosciences*, 6, 1–18.
- Árni Hjartarson, 1988. Vatnafarskort, Sigalda-Veiðivötn, 3340 V. Reykjavík: Orkustofnun og Landsvirkjun.
- Árni Hjartarson, 2001. Vatnafar við Neðri-Þjórsá. Athugandir vegna virkjunarhugmynda. OS-2001/075, 28 bls.
- Árni Óla, 1951. Skemmtiferð um verstu öræfi landsins. III. Að Þórisvatni og Illugaveri. *Lesbók Morgunblaðsins*, 31, 385–387.
- Bailey, J.C., Noe-Nygaard, A., 1976. Chemistry of miocene plume tholeiites from northwest Iceland. *Lithos*, 9, 185–201.
- Begg G.A. og Guðrún Marteinsdóttir, 2002. Environmental and stock effects on spawning origins and recruitment of cod *Gadus morhua*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 229, 263–277.
- Benke, A. C., I. Chaubey, G. M. Ward og E. L. Dunn 2000. Flood pulse dynamics of an unregulated rivers floodplain in the southeastern U.S. coastal plain. *Ecology*, 81, 2730–2741.
- Benóný Jónsson, 2011. Fiskirannsóknir í Hrauneyjalóni 2011. Skýrsla Veiðimálastofnunar, VMST/11053, 12 bls.
- Benóný Jónsson, Magnús Jóhannsson og Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir, 2011. Fiskirannsóknir í Sultatangelóni árið 2010. Skýrsla Veiðimálastofnunar VMST 11003, 15 bls.
- Benóný Jónsson og Magnús Jóhannsson, 2012. Fiskirannsóknir á vatnasvæði Þjórsár 2011. VSMT/12001, 47 bls.
- Benóný Jónsson, 2013. Rannsóknir á göngu bleikju og urriða í Köldukvísl, Tungnaá og Sultartangelóni 2009–2012. LV-2013-034, 33 bls.
- Benóný Jónsson, Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir og Jónína Herdís Ólafsdóttir, 2016. Sporðöldulón – framvinda lífríkis í virkjanalóni. Rannsóknir 2014 og 2015. Framvinduskýrsla 1. Skýrsla Veiðimálastofnunar VMST/16007, 29 bls.
- Bergan M.A., 2011. Laksefisk som indikator på ökologisk tilstand og miljökvalitet i lavereliggendi småelver og bekker: Forslag til metodikk iht. Vanndirektivet. Rapport L. Nr. 6224-2011, NINA, 53 bls.
- Berner E.K., Berner R.A., 1996. *Global Environment: Water, Air and Geochemical Cycles*. Prentice-Hall, Inc. ISBN 0-13-301169-0, 376 bls.
- Borgstrøm R. Og Hansen L.P., 1987. Fisk i ferskvann. Landbruksforlaget Oslo, 347 bls.
- Bunn, S.E. og A.H. Arthington 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, 30, 492–507.
- EES-viðbætur við Stjórnartíðindi Evrópusambandsins, 2011. Nr. 10, 24.02.2011, ISSN 1022-9337, íslensk útgáfa.
- Elísabet R. Hannesdóttir og Jón S. Ólafsson, 2014. Mat á vistfræðilegu ástandi vatnshlota: Botnhryggleysingar í straumvötnum. Stöðuskýrsla til Umhverfisstofnunar. VMST/14009, 18 bls.
- Elrod, V. A., Berelson, W. M., Coale, K. H., Johnson, K. S. (2004) The flux of iron from continental shelf sediments: a missing source for global budgets. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L12307, <http://dx.doi.org/10.1029/2004GL020216>.
- Eshter Hlíðar Jensen, Jórunn Harðardóttir, Svava Björk Þorlákssdóttir, Snorri Zóphóníasson og Sigríður Magnea Óskarsdóttir, 2013. Heildarframburður neðri hluta Þjórsár árin 2001–2010. Veðurstofa Íslands, VÍ-2013/007, ISSN 1670-8261.
- Eshter Hlíðar Jensen, Jórunn Harðardóttir og Sigríður Magnea Óskarsdóttir, 2016. Þjórsá – Svifurslyklar fyrir valin tímabil. Veðurstofa Ísland Greinargerð 2016-01. 72 bls.
- Eydís Salome Eiríksdóttir, Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Jórunn Harðardóttir Svava Björk Þorlákssdóttir, 2011. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi XIV. Skýrsla Raunvísindastofnunar RH-05-2011, 46 bls.

- Eydís Salome Eiríksdóttir, Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Jórunn Harðardóttir, Svava Björk Þorlákssdóttir, Árný E. Sveinbjörnsdóttir og Rebecca A. Neely, 2014. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Austurlandi X. Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofunnar. Raunvísindastofnun Háskólans, Reykjavík, RH-13-2013, 123 bls.
- Eydís Salome Eiríksdóttir, Sigurður Reynir Gíslason og Eric H. Oelkers, 2015. Direct evidence of the feedback between climate and nutrient, major and trace element transport to the ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 166, 246–266.
- Eydís Salome Eiríksdóttir, 2016. *Weathering and riverine fluxes in pristine and controlled river catchments in Iceland*. Doktorsritgerð, Jarðvísindadeild, Faculty of Earth Sciences, University of Iceland, ISBN 978-9935-9283-9-9, 272 bls.
- Eydís Salome Eiríksdóttir, Svava Björk Þorlákssdóttir, Jórunn Harðardóttir og Sigurður Reynir Gíslason, 2016. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi XIX. Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofunnar. Jarðvísindastofnun Háskólans RH-03-2016, 65 bls.
- Eydís Salome Eiríksdóttir, Eric H. Oelkers, Jórunn Harðardóttir og Sigurður Reynir Gíslason, 2017. The impact of damming on riverine fluxes to the ocean: a case study from Eastern Iceland. *Water Research*, 113, 124–138.
- Finnur Pálsson, 2014. VATNAJÖKULL: Mass balance, meltwater drainage and surface velocity of the glacial year 2013-14. Skýrsla LV-2014-138, 57 bls.
- Friðbjófur Árnason, 2014. Mat á vistfræðilegum ástandi vatnshlota: Laxfiskar í stöðuvötnum. Stöðuskýrsla til Umhverfisstofnunar. VMST/14013, 28 bls.
- Galeczka I., Oelkers E.H og Sigurður Reynir Gíslason, 2014. The chemistry and element fluxes of the July 2011 Múlakvísl and Kaldakvísl glacial floods, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 273, 41–57.
- Gerður Stefánsdóttir og Halla Margrét Jóhannesdóttir, 2013. Gerðir straumvatna og stöðuvatna. Stöðuskýrsla til Umhverfisstofnunar. VÍ 2013-002: VMST 13007, 28 bls.
- Gísli Már Gíslason, Hákon Aðalsteinsson, Iris Hansen, Jón S. Ólafsson & Kristín Svavarsdóttir (2001). Longitudinal changes in macroinvertebrate assemblages along a glacial river system in central Iceland. *Freshwater Biology*, 46, 1737–1751.
- Godfrey J.D., 2005. Site Condition Monitoring of Atlantic Salmon SACs. Report by the SRCC to Scottish Natural Heritage, Contract F02AC608, 274 bls.
- Guðni Guðbergsson, 1990. Rannsóknir á fiski á vatnasvæði Kvíslaveitu. Skýrsla Veiðimálastofnunar VMST-R/90023X, 22 bls.
- Guðni Guðbergsson og Þórólfur Antonsson, 1997a. Kaldakvísl ofan Nefja. Skýrsla Veiðimálastofnunar, VMST-R/97017X, 10 bls.
- Guðni Guðbergsson og Þórólfur Antonsson, 1997b. Rannsókn á urriða í Þórisvatni 1996. Skýrsla Veiðimálastofnunar, VMST-R/97003X.
- Guðni Guðbergsson og Þórólfur Antonsson 1997c. Bleikja á Auðkúluheiði. Náttúrufræðingurinn, 67 (2), 105–124.
- Guðni Guðbergsson, 1999. Rannsóknir á urriða í Þórisvatni 1999. Skýrsla Veiðimálastofnunar VMST-R/99022, 18 bls.
- Guðni Guðbergsson og Magnús Jóhannsson, 1999. Úttekt á fiskstofnum og uppeldisskilyrðum fiska á vatnasvæði Tungnaár. VMST-R/99024, 27 bls.
- Guðni Guðbergsson og Ragnhildur Magnúsdóttir, 2000. Kaldakvísl og Sultartangalón. Fiskstofnar og lífríki. Skýrsla Veiðimálastofnunar, VMST-R/0020
- Guðni Guðbergsson og Ragnhildur Magnúsdóttir 2001. Rannsóknir á urriða og svifi í Kvíslaveitu 2000. Veiðimálastofnun. VMST-R/0120, 20 bls.
- Guðni Guðbergsson og Sigurður Guðjónsson, 2008. Rannsóknir á urriðastofnun Kvíslaveitu og Þórisvatns 2008. Veiðimálastofnun VMST/08042, 32 bls.
- Guðni Guðbergsson, 2009. Framvinda fiskstofna í miðlunar- og uppistöðulónum. Fræðaging landbúnaðarins 2009. 12.–13. febrúar 2009, 187–194.

- Guðni Guðbergsson, 2016. Lax- og silungsveiðin 2015. Skýrsla Veiðimálastofnunar VMST/16026, 46 bls.
- Gunnar Orri Gröndal, 2004. Aðgreining vatnsfalla eftir rennslisháttum þeirra. Greinargerð Orkustofnunar GOG-2004/07, 4 bls
- Gunnar Steinn Jónsson, Iris Hansen, Halla Margrét Jóhannesdóttir og Ingi Rúnar Jónsson, 2014. Mat á vistfræðilegu ástandi vatnshlota: Vatnagróður. Stöðuskýrsla til Umhverfisstofnunar. VMST/14010, 32 bls.
- Halla Margrét Jóhannesdóttir, 2014. Framvinda verkþátta vegna innleiðingar laga nr 36/2011 um stjórn vatnamála. Stöðuskýrsla til Umhverfisstofnunar. VMST/14012, 9 bls.
- Halla Margrét Jóhannesdóttir og Ingi Rúnar Jónsson, 2014. Viðmiðunarvatnshlot fyrir straumvötn. Stöðuskýrsla til Umhverfisstofnunar. VMST/14011, 15 bls.
- Halldór Ármannsson, Helgi R. Magnússon, Pétur Sigurðsson og Sigurjón Rist, 1973. Efnarannsókn vatna. Vatnasvið Hvítár - Ölfusár; einnig Þjórsár við Urriðafoss: Orkustofnun, OS - RI, Reykjavík, 28 bls.
- Haukur Tómasson, 1982. Áhrif virkjunarframkvæmda á aurburð í Þjórsá. OS82044, 39 bls.
- Hákon Aðalsteinsson, 1981. Afdrif svífsins í Þórisvatni eftir milun og veitur úr Köldukvísl. OS81025/VOD11, 55 bls.
- Hákon Aðalsteinsson, 2010. Grugg og gegnsæi í Lagarflijóti fyrir og eftir gangsetningu Kárahnjúkavirkjunar. LV-2010/123, 10 bls.
- Hákon Aðalsteinsson, Helgi Bjarnason og Helgi Jóhannesson, 2012. Áhrif fyrirhugaðra virkjana í neðri hluta Þjórsár á fiskstofna í Þjórsá. LV-2012-014, 11 bls.
- Hnit hf. 2003. Urriðafossvirkjun í Þjórsá, allt að 150 MW, og breyting á Búrfellslónu 2. Mat á umhverfisáhrifum. Matsskýrsla, LV-2003/031, 198 bls.
- Hodson, A., Mumford P. Og Lister C., 2004. Suspended sediment and phosphorus in proglacial rivers: Bioavailability and potential impacts upon the P status of ice-marginal receiving waters. *Hydrol. Process.* 18, 2409–2422.
- Hood, E. Og Berner L., 2009. Effects of changing glacial coverage on the physical and biogeochemical properties of coastal streams in southeastern Alaska. *J. Geophys. Res.*, 114, G03001.
- Hugrún Gunnarsdóttir, 2016. Virkjanir og veitur á Þjórsár- og Tungnaárvæði. Framkvæmdasaga 1965 til 2015. LV-2016-003, 23 bls.
- Iris Hansen, Gísli Már Gíslason & Jón S. Ólafsson (2006). Diatoms in glacial and alpine rivers in Central Iceland. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 29, 1271–1274
- Jeandel C., Peucker-Ehrenbrink B., Jones M. T., Pearce C. R., Oelkers E. H., Godderis Y., Lacan F., Aumont O., Arsouze T. (2011) Ocean margins: the missing term for oceanic element budgets? *EOS*, 92, 217–219.
- Jeandel C. and Oelkers E. (2015) The influence of terrigenous particulate material dissolution on ocean chemistry and global element cycles. *Chem. Geol.*, 395, 50–66.
- Jones M. T., Pearce C. R., Oelkers E. H., 2012a. An experimental study of the interaction of basaltic riverine particulate material and seawater. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 77, 108–120.
- Jones M. T., Pearce C. R., Jeandel C., Gíslason S. R., Eiríksdóttir E. S., Mavromatis V., Oelkers E.H. (2012b) Riverine particulate material dissolution as a significant flux of strontium to the oceans. *Earth Planet. Science Letters*, 355–356, 51–59.
- Jones M. T., Gíslason S. R., Burton K. W., Pearce C. R., Mavromatis V., Pogge von Strandmann P. A. E., Oelkers E. H. (2014) Quantifying the impact of riverine particulate dissolution in seawater on ocean chemistry. *Earth Planet. Sci. Letters*, 395, 91–100.
- Jón Ólafsson, 1985. Recruitment of Icelandic haddock and cod in relation to variability in the physical environment *ICES*, C.M. 1985/G:59, 10 bls.
- Jón Ólafsson, Sólveig R. Ólafsdóttir og Jóhannes Briem, 2008. Vatnsföll og vistkerfi strandsjávar. *Náttúrufræðingurinn*, 76 (3-4), 95–108.
- Jórunn Harðardóttir og Svava Björk Þorlákssdóttir 2002. Total sediment transport in the lower reaches of Þjórsá at Krókur—Results from the year 2001. Orkustofnun, OS-2002/020.

Jórunn Harðardóttir og Svava Björk Þorlákssdóttir, 2003. Total sediment transport in the lower reaches of Þjórsá at Krókur. Results from the year 2002. Orkustofnun, OS-2003/028, 48 bls.

Jórunn Harðardóttir og Snorri Árnason, 2006. Niðurstöður aurburðarmælinga við Sóleyjarhöfða í Þjórsá árin 2003 til 2005. LV-2006/128, 44 bls.

Landsvirkjun, 2010a. Ársskýrsla Landsvirkjunar 2010, http://www.landsvirkjun.is/media/2011/LV_arsskyrsla_2011.pdf

Landsvirkjun, 2010b. Wiski gagnagrunnur 25.10.2010 – M00328.

Landsvirkjun, 2015. Endurgreining á sögulegu rennsli, 2015.

Landsvirkjun, 2016a. Wiski gagnagrunnur 24.05.2016 – M00328.

Landsvirkjun, 2016b. Wiski gagnagrunnur 25.11.2016 – M00328.

Landsvirkjun, 2017a: Wiski gagnagrunnur, 11.4.2017 - M00328.

Landsvirkjun, 2017b. Wiski gagnagrunnur, 21.4.2017 - M00328.

Magnús Jóhannsson, 1989. Kaldakvísl 1988. Uppeldisskilyrði og seiðarannsóknir. VMST-S/89005X, 10 bls.

Magnús Jóhannsson, 1990. Kaldakvísl 1989. Seiðarannsóknir og árangur seiðasleppinga. Skýrsla Veiðimálastofnunar, VMST-S/900006X, 9 bls.

Magnús Jóhannsson og Sigurður Guðjónsson, 1998. Rannsóknir á lífsskilyrðum fyrir laxfiska á vatnasvæði Efri-Þjórsár, VMST-S/98005X, 17 bls.

Magnús Jóhannsson, 1999. Rannsóknir á lífsskilyrðum í Efri-Þjórsá. Veiðimálastofnun VMST-S/99010, 19 bls.

Magnús Jóhannsson og Guðni Guðbergsson, 1999. Lífsskilyrði urriða í Hágöngulóni og Köldukvísl. Skýrsla Veiðimálastofnunar, VMST-S/99011X, 21 bls.

Magnús Jóhannsson, Benóný Jónsson, Erla Björk Örnólfsdóttir, Sigurður Guðjónsson og Ragnhildur Magnúsdóttir, 2002. Rannsóknir á lífríki Þjórsár og þveráa hennar vegna virkjana neðan Búrfells. VMST-S/02001, 124 bls.

Magnús Jóhannsson, Benóný Jónsson og Sigurður Guðjónsson, 2008. Fiskrannsóknir á vatnasvæði Þjórsár. Samantekt rannsókna árin 2003 til 2007. Veiðimálastofnun VMST/08020, 71 bls.

Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson 2009. Rannsóknir á fiski í Köldukvísl og Tungnaá árið 2009. Skýrsla Veiðimálastofnunar VMST/09049, 24 bls.

Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson, 2011. Fiskrannsóknir á vatnasvæði Þjórsár árið 2010. VMST/11037.

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.

Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson, 2012. Fiskrannsóknir á vatnasvæði Þjórsár árið 2011. VMST/13006, LV-2013-063, 50 bls.

Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson, 2013. Fiskrannsóknir á vatnasvæði Þjórsár árið 2012. VMST/13006, LV-2013-063, 50 bls.

Magnús Jóhannsson og Benóný Jónsson, 2014. Fiskrannsóknir á vatnasvæði Þjórsár—Samantekt fyrir árin 2008 – 2012. Skýrsla Veiðimálastofnunar VMST/13043, 78 bls.

Mannvit, 2012. Búðarháls HEP, Environmental Management Plan, 17 bls.

Matthildur Stefánsdóttir og Sigurður Reynir Gíslason, 2005. Suspended basaltic glass–seawater interactions. *J. Geochem. Expl.*, 88, 332–335.

McCormic S.D., Hansen L.P., Quinn T.P., Aunders R.L., 1998. Movement, migration and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 55, 77–92.

Meybeck M., 1979. Concentrations des eaux fluviales en éléments majeurs et apports en solution aux océans, *Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys.* 21(3):215–246.

Morin G. P., Vigier N., Verney-Carron A., 2015. Enhanced dissolution of basaltic glass in brackish waters: Impact on biogeochemical cycles. *Earth Planet. Sci. Lett.* 417, 1–8.

- Noble A.E., Saito M. A., Maiti K., Benitez-Nelson C.R., 2008. Cobalt, manganese and iron near the Hawaiian Islands: a potential concentrating mechanism for cobalt within a cyclonic eddy and implication for the hybrid-type trace metals. *Deep Sea Res. II* 55, 1473–1490.
- Ólafur S. Ástþórsson, Ástþór Gíslason og Ásta Guðmundsdóttir, 1994. Distribution, abundance, and length of pelagic juvenile cod in Icelandic waters in relation to environmental conditions, *ICES mar. Sci. Symp.*, 198, 529–541.
- O’Gorman E.J., Ólafur P. Ólafsson, Demars B. O.L., Friberg N., Guðni Guðbergsson, Elísabet R. Hannesdóttir, Jackson M.C., Johansson L.S., McLaughlin Ó.B., Ólafsson J.S., Woodward G., Gísli Már Gíslason, 2016. Temperature effects on fish production across a natural thermal gradient. *Global Change Biology*, 22, 3206–3220.
- Oslo and Paris Commissions, 1995. Implementation of the Joint Assessment and Monitoring Programme, Appendix 2, Principles of the Comprehensive Study on Riverine Inputs, bls. 22–27.
- Otero J., Abée-Lund J.H., Castro-Santos T., Leonardsson K., Størvik G.O., Jonsson B., Dempson B., Russel I.C., Jensen A.J., Baglinière J-L., Dionne M., Armstrong J.D., Romakkaniemi A., Letcher B.H., Kocik J.F., Erkinaro J., Poole R., Rogan G., Lundqvist J., Maclean J.C., Jokikokko E., Arnekleiv J.V., Kennedy R.J., Niemelä E., Caballero P., Music P.A., Antonsson T., Gudjonsson S., Veselov A.E., Lamberg A., Groom S., Taylor B.H. Taberner M., Dillane M., Arnason F., Horton G., Hvidsten N.A., Jonsson I.R., Jonsson N., McKelvey S., Næsje T.F., Skaala Ø., Smith G.W., Sægvog H., Stenseth N.C., Vøllestad L.A., 2014. Basin-scale phenology and effects of climate variability on global timing of initial seaward migration of Atlantic salmon (*Salmo Salar*). *Global Change Biology*, 20, 61–75.
- Pearce C. R., Jones M. T., Oelkers E. H., Pradoux C., Jeandel C. (2013) The effect of particulate dissolution on the neodymium (Nd) isotope and Rare Earth Element (REE) composition of seawater. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 369–370, 138–147.
- Peucker-Ehrenbrink B., Miller M. W., Arsouze T., and Jeandel C. (2010) Continental bedrock and riverine fluxes of strontium and neodymium isotopes to the oceans. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11, Q03016, 10.1029/2009GC002869
- Poff N.L., Allan J.D., Bain M.B., Karr J.R., Richter B., Sparks R., Stromberg J., 1997. The natural flow regime: a new paradigm for riverine conservation and restoration. *BioScience*, 47, 769–784.
- Poff N.L. og Zimmerman J.K.H., 2009. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology*, 55, 194–205.
- Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir, Benóný Jónsson og Jónína Herdís Ólafsdóttir, 2017. Vatnalífsrannsóknir í Suglartangalóni árið 2016. HV 2017-023, ISSN nr 2298-9137, 26 bls.
- Richter B.D., Baumgartner J.V., Powell J., Braun D.P., 1996. A method for assessing hydrological alteration within ecosystems. *Conservation Biology*, 10 (4), 1163–1174
- Richter B.D., Baumgartner J.V., Wigington R., Braun D.P., 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology*, 37, 231–249.
- Richter B.D., 2009. Re-thinking environmental flows: From allocations and reserves to sustainability boundaries. *River Research and applications*, DOI: 10.1002/rra.1320
- Richter B.D., Davis M.M., Apse C. og Konrad C., 2011. A presumptive standard for environmental flow protection. *River Research and Applications* 28, 1312-1321.
- Sanz C.B. og Schmidt G, 2012. Analysis of the implementation of Environmental Flow in the wider context of the River Basin Management Plans. Report drafted in the framework of the Comparative Study of Pressures and Measures in the Major River Basin Management Plans. Task 3d: Water Abstraction and Water Use. Final deliverable, version: Draft 1.0, Nov. 2012, 89 bls.
- Saltveit, S.J., J.H. Hallaker, J.V. Arnekleiv og A. Harby 2001. Field experiments on stranding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. *Regul. Rivers: Res Mgmt.*, 17, 609–622.
- Schminke H.U., Vierick L.G., 1982. Volcaniclastic Rocks of the Reydarfjörður Drill Hole, Eastern Iceland. 1. Primary Features. *Journal of Geophysical research*, 87, 6437–6458.

- Sigurður Guðjónsson og Ingi Rúnar Jónsson, 2000. Vatnakerfi Blöndu 2000. Göngufiskur og veiði. Veiðimálastofnun, VMST-R/0022X, 7 bls.
- Sigurður Reynir Gíslason, Stefán Arnórsson og Halldór Ármannsson, 1996. Chemical weathering of basalt in southwest Iceland: Effects of runoff, age of rocks and vegetative/glacial cover. *American Journal of Science*, 296, 837–907.
- Sigurður Reyni Gíslason, Jón Ólafsson, Árni Snorrason, 1997. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurland: Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar, Hafrannsóknarstofnunar og Orkustofnunar, RH-25-97.
- Sigurður Reynir Gíslason, Jón Ólafsson, Árni Snorrason, Ingvi Gunnarsson og Snorri Zóphóníasson, 1998. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi, II. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar, Hafrannsóknarstofnunar og Orkustofnunar. Raunvísindastofnun Háskólans. Jarðvísindastofnun Háskólans, RH-20-98, 39 bls.
- Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Guðmundur Bjarki Ingvarsson, Luiz Gabriel Quinn Camargo, Eydís Salome Eiríksdóttir, Jórunn Harðardóttir, Kristjana G. Eyþórsdóttir og Svava Björk Þorláksdóttir, 2007. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi X. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnunar. Raunvísindastofnun, Reykjavík, RH-12-2007, 52 bls.
- Sigurjón Rist 1990. *Vatns er þörf*. Bókaútgáfa menningarsjóðs, Reykjavík, 248 bls.
- Sigurjón Rist 1974. Efnarannsókn vatna. Vatnasvið Hvítár – Ölfurár; einnig Þjórsár við Urriðafoss: Reykjavík, Orkustofnun, OS-V-7405, 29 bls.
- Singh S. P., Singh S. K., Goswami V., Bhushan R., Rai V. K. (2012) Spatial distribution of dissolved neodymium and ϵNd in the Bay of Bengal: role of particulate matter and mixing of water masses. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 94, 38–56.
- Sólveig R. Ólafsdóttir, 2002. Styrkur næringarefna í hafinu umhverfis Ísland. Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit nr. 122. 24 bls.
- Snævarr Örn Georgsson, 2016. Samspil grunnvatns og rennsli Tungnaár. Mastersritgerð við Háskóla Íslands, 71 bls.
- Svanur Pálsson, Jórunn Harðardóttir, Guðmundur H. Vigfússon og Árni Snorrason, 2000. Reassessment of suspended sediment load of river Jökulsá á Dal at Hjarðarhagi. Skýrsla Vatnamælinga OS-2000/070.
- Sæmundur Ari Halldórsson Níels Óskarsson, Karl Grönvold, Gylfi Sigurðsson, Guðrún Sverrisdóttir og Sigurður Steinþórsson, 2008. Isotopic-tetereogeneity of the Thjorsa Lava–Implications for mantle sources and crustal processes within the Eastern Rift zone, Iceland. *Chemical Geology*, 255, 305–316.
- The Nature Conservancy, IHA program (IHA 7):
<https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofhydrologicAlteration/Pages/indicators-hydrologic-alt.aspx>
- The Nature Conservancy, 2009. Indicators of Hydrologic Alteration, version 7.1. User's Manual, 88 bls.
- Tilskipun Evrópuþingsins og ráðsins 2000/60/EB, 2000. Stjórnartíðindi EB 22.12.2000. L327/1
- UK TAG, 2007. Guidance on environmental flow releases from impoundments to implement the Water Framework Directive. Final report.
- UK TAG, 2008. UK Environmental Standards and Conditions Report (Phase 1)
- Vatnaskil, 2002. Þjórsár – Tungnaárvæði Rennslislíkan. Unnið fyrir Landsvirkjun, 154 s
- Veðurstofa Íslands (2005). Gagnagrunnur Veðurstofunnar afgreiðsla nr. 2005/26.
- Veðurstofa Íslands, 2016a. <http://gisvi.vedur.is/vatnamal/vefsja/> 01.12.2016
- Veðurstofa Íslands, 2016b. http://www.vedur.is/Medaltalstoflur-txt/Stod_001_Reykjavik.ArsMedal.txt gögn sótt þann 17.08.2016.
- Veðurstofa Íslands, 2016c. http://www.vedur.is/Medaltalstoflur-txt/Stod_931_Hjardarland.ArsMedal.txt gögn sótt þann 17.08.2016.
- Veðurstofa Íslands, 2016d. <http://www.vedur.is/vatnafar/frodleikur/greinar/nr/2637>, 30.11.2016
- WFD 2000/60/EB, 2000. <http://www.eea.europa.eu/policy-documents/water-framework-directive-wfd-2000>

- WFD CIS, 2000. Guidance document no. 4. Common Implementation Strategy for the WFD (2000/60/EC). Identification and designation of Heavily Modified and Artificial Water Bodies., 108 bls.
- WFD CIS, 2003a. Guidance document no. 10. Rivers and Lakes – Typology, Reference Conditions and Classification Systems, 87 bls
- WFD CIS, 2003b. Guidance document no. 3. Analysis of Pressures and Impacts – Impress.
- WFD CIS, 2005. Guidance document No 13. Overall approach to the classification of ecological status and ecological potential.
- WFD CIS, 2015. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. Guidance Document No. 31. Technical Report–2015–86, 106 bls.
- Vígfús Jóhannsson og Sigurður Már Einarsson, 1987. Urriðastofn Þórisvatns, eftir miðlun og veitu úr Köldukvísl. Veiðimálastofnun, VMST-R/87016, 66 bls.
- WISER, 2016. Water bodies in Europe: Integrative Systems to assess Ecological status and Recovery. <http://www.wiser.eu/results/method-database/> 29.11.2016
- Þórólfur Antonsson og Guðni Guðbergsson, 1990. Sultartangalón, Hrauneyjalón og Krókslón. Fiskrannsóknir 1991. Skýrsla veiðimálastofnunar VMST-R/91002.x, 25 bls.
- Þórólfur Antonsson og Sigurður Guðjónsson, 2002. Variability in Timing and Characteristics of Atlantic Salmon Smolt in Icelandic Rivers. *Transactions of the American Fisheries Society*, 131, 643–655.
- Þórólfur Antonsson, Leó A. Guðmundsson, Ingi Rúnar Jónsson og Guðmunda Björg Þórðardóttir, 2014. Mat á vistfræðilegu ástandi vatnshlota: Laxfiskar í straumvötnum. Stöðuskýrsla til Umhverfisstofnunar. VMST/14007, 26 bls.

Viðaukar

Viðauki 1. IHA breytur fyrir rennsli Þjórsár við Dynk 1989 – 2015.

Viðauki 2. IHA breytur fyrir rennsli Tungnaár við Maríufoss 1989–2015.

Viðauki 3. IHA breytur fyrir rennsli Tungnaár við Sigöldufoss 1989 – 2015.

Viðauki 4. IHA breytur fyrir rennsli Þjórsár við Sandafell 1963 – 2015.

Viðauki 5. IHA breytur fyrir rennsli Þjórsár við Krók 1959 – 2015.

Viðauki 6. Langsnið af farvegi Þjórsár.

Viðauki 7. Langsnið af farvegi Tungnaár.

Skýringar á breytum í töflum í viðaukum

<i>Year</i>	Ár
<i>1-day min</i>	Árlegt lágrennsli, eins dags meðaltal
<i>3-day min</i>	Árlegt lágrennsli, þriggja daga meðaltal
<i>7-day min</i>	Árlegt lágrennsli, sjö daga meðaltal
<i>30-day min</i>	Árlegt lágrennsli, 30 daga meðaltal
<i>90-day min</i>	Árlegt lágrennsli, 90 daga meðaltal
<i>1-day max</i>	Árlegt hárennsli, eins dags meðaltal
<i>3-day max</i>	Árlegt hárennsli, þriggja daga meðaltal
<i>7-day max</i>	Árlegt hárennsli, sjö daga meðaltal
<i>30-day max</i>	Árlegt hárennsli, 30 daga meðaltal
<i>90-day max</i>	Árlegt hárennsli, 90 daga meðaltal
<i>Zero days</i>	Fjöldi daga með ekkert rennsli
<i>Base flow</i>	Grunnrennslisstuðull: sjö daga lágrennsli ársins/miðgildi ársrennslis
<i>Date min</i>	Júlíanskur dagur hvers árs: 1-dags lágrennsli
<i>Date max</i>	Júlíanskur dagur hvers árs: 1-dags hárennsli
<i>Lo pulse #</i>	Fjöldi lágrennslistímabila innan eins vatnsárs
<i>Lo pulse L</i>	Lengd lágrennslistímabila: fjöldi daga
<i>Hi pulse #</i>	Fjöldi hárennslistímabila innan eins vatnsárs
<i>Hi pulse L</i>	Lengd hárennslis (fjöldi daga)
<i>Rise rate</i>	Hraði rennslisaukningar: Meðaltal eða miðgildi rennslisaukningar (m^3) frá einum degi til annars
<i>Fall rate</i>	Hraði rennslisfallanda: Meðaltal eða miðgildi rennslisminnkunar (m^3) frá einum degi til annars.
<i>Reversals</i>	Fjöldi „viðsnúninga“ í rennsli
<i>Sept - Oct lowf</i>	Lágrennsli (m^3/s) hvers mánaðar

Viðauki 6. IHA breytur fyrir rennsli Þjórsár við Dynk 1989–2015 (Tafla 4). Sjá útskýringar á breytum í töflu fremst í viðauka.

Year	1-day min	3-day min	7-day min	30-day min	90-day min	1-day max	3-day max	7-day max	30-day max	90-day max	Zero days	Base flow	Date min	Date max	Lo pulse #	Lo pulse L	Hi pulse #	Hi pulse L	Rise rate	Fall rate	Reversals	Oct lowf	Nov lowf	Dec lowf	Jan lowf	Feb lowf	Mar lowf	Apr lowf	May lowf	June lowf	July lowf	Aug lowf	Sept lowf
1989	31	32	33	37	39	881	798	712	455	300	0	0,27	79	170	4,0	12,5	9,0	2,0	5,0	-2,1	123	71	58	53	45	44	37	38	55	117		135	110
1990	26	28	32	34	37	673	576	486	315	238	0	0,27	117	152	6,0	2,5	6,0	4,5	5,1	-7,0	139	81	48	45	46	41	37	35	59	110	119		103
1991	30	30	30	36	49	655	636	558	327	294	0	0,22	3	149	10,0	3,5	5,0	5,0	7,6	-7,0	130	72	55	41	54	64	43	41	125	124			112
1992	36	42	45	49	55	751	683	610	429	262	0	0,37	115	160	2,0	1,0	5,0	16,0	6,0	-5,2	151	73	50	54	60	69	57	49	55	119	133	105	86
1993	33	36	36	39	45	697	633	509	334	245	0	0,32	117	162	7,0	3,0	6,0	6,0	2,9	-1,9	149	57	41	41	57	57	43	39	66	127		138	126
1994	35	36	36	39	44	425	367	277	241	210	0	0,33	116	150	7,0	5,0	7,0	4,0	5,1	-3,7	137	80	92	52	47	47	41	39	104	118		138	88
1995	29	29	29	30	32	666	608	550	378	288	0	0,25	83	163	7,0	2,0	8,0	5,0	3,3	-3,1	152	72	42	41	35	35		34	91		136		113
1996	19	20	20	38	42	283	260	244	208	193	0	0,19	288	133	9,0	15,0	7,0	8,0	5,0	-5,6	150	69	58	55	41	37	42	70	86	107	137	138	100
1997	23	24	26	27	29	814	749	688	297	226	0	0,27	95	152	1,0	149,0	11,0	4,0	2,6	-2,7	144	91	47	34	38	37		47	53	127		125	90
1998	25	26	28	38	42	240	222	206	173	152	0	0,31	13	134	13,0	3,0	14,0	2,5	7,6	-6,1	137	62	52	44	40	37	39	63	121	90	132	138	81
1999	27	27	27	29	34	351	282	252	214	182	0	0,30	91	137	7,0	2,0	10,0	3,0	6,2	-3,7	119	54	47	37	34	38		38	99	105		131	112
2000	26	27	28	30	36	382	354	304	214	176	0	0,29	58	203	2,0	31,5	10,0	5,5	1,8	-2,3	104	73	94	68	44	34	37	45	130	120	139	136	99
2001	24	25	26	27	31	363	259	214	154	137	0	0,37	47	127	6,0	10,0	11,0	4,0	1,5	-1,4	101	45	38	34	47	48		38	75	69	128	129	109
2002	17	28	29	30	35	533	318	245	193	177	0	0,29	324	9	8,0	2,5	13,0	3,0	6,6	-7,1	106	68	39	56	101	36	37	39	79	125	139	132	119
2003	29	30	32	37	41	518	450	360	290	251	0	0,26	365	109	12,0	6,0	13,0	3,0	8,7	-6,4	123	49	40	39	37	38	50	99	108	127			70
2004	15	15	19	37	42	397	354	327	263	214	0	0,17	107	68	7,0	7,0	8,0	4,0	10,7	-8,5	119	60	48	44	39	41	62	74	97	132			105
2005	43	43	43	44	47	413	377	354	316	222	0	0,41	17	228	0,0		4,0	11,5	6,9	-6,2	120	60	52	46	44	49	44	62	77	124		114	82
2006	30	32	33	34	43	262	233	211	201	174	0	0,36	98	187	5,0	10,0	10,0	6,5	6,3	-1,2	102	60	44	35	43	59	44	35	95	121	130	136	95
2007	60	64	70	84	88	409	397	360	179	168	0	0,58	282	155	0,0		3,0	8,0	0,2	-1,0		83	87	93	98	103	108	114	97	117		133	109
2008	26	27	27	33	43	386	364	311	251	201	0	0,25	348	213	4,0	15,0	10,0	2,0	4,8	-2,2	138	80	54	75	56	49	40	37	83	132	136	135	125
2009	32	36	38	42	46	301	278	240	193	171	0	0,40	23	135	10,0	2,0	10,0	4,5	5,2	-4,5	136	66	57	50	45	51	43	41	98	131	128	122	92
2010	31	33	33	38	45	326	302	287	253	214	0	0,31	277	229	10,0	4,0	13,0	2,0	6,1	-5,1	134	70	52	41	43	38	43	37	113	129		129	76
2011	21	25	26	32	37	451	406	353	228	189	0	0,26	34	132	11,0	8,0	12,0	2,5	5,0	-4,2	153	78	38	38	34	37	39	45	106	128	130	128	82
2012	18	18	18	19	23	452	430	395	263	235	0	0,18	323	147	5,0	4,0	6,0	6,5	2,2	-3,4	117	66			36	46	42	71	82	135		104	75
2013	25	26	27	29	32	524	353	249	180	150	0	0,35	101	57	8,0	13,0	14,0	2,0	4,2	-1,6	101	55	39	34	38	55	38	36	114	121	112	122	73
2014	22	25	28	28	30	304	277	245	209	175	0	0,32	33	201	3,0	31,0	13,0	3,0	3,8	-3,1	158	57	38	36	34			43	107	129	137	129	114
2015	30	32	33	36	37	290	271	243	212	161	0	0,40	38	181	13,0	3,0	5,0	7,0	3,7	-2,1	131	58	54	39	37	41	37	40	50	109	119	119	109

Viðauki 7. IHA breytur fyrir rennsli Tungnaár við Maríufoss 1989–2015 (Tafla 4). Sjá útskýringar á breytum í töflu fremst í viðauka

Year	1-day min	3-day min	7-day min	30-day min	90-day min	1-day max	3-day max	7-day max	30-day max	90-day max	Zero days	Base flow	Date min	Date max	Lo pulse #	Lo pulse L	Hi pulse #	Hi pulse L	Rise rate	Fall rate	Reversals	Oct lowf	Nov lowf	Dec lowf	Jan lowf	Feb lowf	Mar lowf	Apr lowf	May lowf	June lowf	July lowf	Aug lowf	Sept lowf
1989	26	28	31	34	37	380	367	357	232	171	0	0,38	14	165	13	4	6	3	3,7	-4,4	99	55	51	52	57	44	42	48	61	102		101	84
1990	29	32	33	33	36	286	277	230	179	150	0	0,40	117	168	9	3	7	3	2,7	-4,1	109	67	51	44	47	42		42	68	112	109	104	82
1991	22	25	30	43	52	224	213	191	149	137	0	0,35	328	151	14	4	9	5	4,4	-4,2	93	61	60	45	69	66	53	50	102	99		98	84
1992	16	21	31	39	52	286	266	244	203	153	0	0,36	290	150	12	4	9	5	4,6	-4,5	83	59	51	52	61	61	51	47	58	98	108	102	57
1993	27	31	35	38	42	230	216	206	181	144	0	0,43	329	157	14	3	7	3	3,8	-3,2	105	57	47	45	48	50	55	54	72		112	102	92
1994	36	38	41	47	56	266	251	230	192	159	0	0,42	42	212	8	3	8	5	4,4	-4,0	88	104	91	63	54	58	53	50	105			100	71
1995	29	30	34	37	39	217	210	191	160	142	0	0,42	93	224	9	4	7	3	4,1	-3,8	93	69	54	59	46	41	46	45	85		98	97	79
1996	13	20	29	37	47	344	277	207	146	134	0	0,33	300	337	9	15	10	6	4,0	-4,9	103	46	47	48	47	42	48	75	83	86	111	105	109
1997	29	31	33	35	37	228	225	214	165	154	0	0,39	305	153	4	35	7	8	3,8	-3,2	101	71	50	43	44	43		69	80	107		102	72
1998	13	23	42	48	52	297	276	211	135	109	0	0,53	365	134	11	4	11	3	4,8	-4,0	84	64	53	55	52	50	51	48	99	78	94	99	67
1999	24	28	34	43	48	258	222	187	134	121	0	0,44	297	343	11	6	11	4	3,8	-3,5	103	50	60	49	46	55	43	49	94	97	109	92	90
2000	25	27	30	34	40	267	257	221	136	128	0	0,39	52	137	10	8	12	3	4,1	-4,3	90	63	51	46	55	41	49	50	89	100	111	94	91
2001	26	28	30	39	49	258	250	217	131	119	0	0,35	307	129	8	14	17	3	4,4	-4,2	92	72	47	47	70	54	46	54	91	95	102	110	97
2002	23	28	39	44	54	421	350	290	148	129	0	0,42	309	113	10	5	19	3	5,1	-5,9	122	81	64	54	55	49	45	68	93	107	107	96	86
2003	24	32	41	52	89	507	399	262	167	151	0	0,35	323	50	7	3	18	6	8,3	-8,6	127	54	59	76	59	48	82	94	86	104		112	80
2004	33	41	45	51	59	498	396	276	166	131	0	0,43	365	70	8	2	18	5	5,6	-6,2	133	67	60	61	55	53	76	97	91	98	109	95	94
2005	16	27	40	44	53	368	323	225	135	108	0	0,48	293	110	11	2	17	2	4,1	-5,3	133	63	68	54	46	54	49	67	81	100	108	101	67
2006	9	22	32	47	62	251	217	178	139	131	0	0,36	303	363	13	3	15	3	5,4	-6,2	112	61	49	48	57	78	50	54	83	106		110	92
2007	29	33	38	40	48	392	298	230	133	119	0	0,44	345	365	11	2	13	4	4,5	-4,5	134	63	49	46	51	47	42	79	71	104	111	103	80
2008	30	35	40	47	56	253	239	207	166	153	0	0,39	347	128	15	2	13	6	6,0	-6,9	139	80	58	50	58	56	52	51	88	110	105	108	101
2009	20	30	39	44	53	259	238	175	138	124	0	0,44	294	122	13	2	17	3	5,2	-6,2	138	65	64	54	51	48	57	79	94	104	97	98	84
2010	16	21	34	42	57	495	327	263	108	104	0	0,41	355	348	14	5	20	2	5,7	-4,6	137	66	63	49	46	49	53	50	81	102	100	92	68
2011	22	25	29	35	44	319	290	226	175	149	0	0,33	352	124	8	14	10	4	4,1	-5,0	129	66	49	50	51	44	52	83	86	104		93	81
2012	31	33	38	47	61	208	192	167	121	112	0	0,43	11	315	8	2	15	2	4,5	-4,4	119	67	72	53	51	73	62	75	88	100	102	101	69
2013	10	14	28	38	47	267	241	205	144	123	0	0,35	307	58	10	8	16	3	3,5	-3,7	129	52	44	46	58	49	53	49	71	110	104	95	61
2014	16	18	25	31	34	210	186	150	139	125	0	0,35	317	184	5	43	11	4	2,7	-3,6	128	48	41	40	43		52	64	96	112	109	86	79
2015	34	36	37	46	49	262	212	179	151	130	0	0,43	73	254	9	3	12	4	3,5	-3,6	134	58	74	55	49	48	54	59	86	109	110	103	95

Viðauki 8. IHA breytur fyrir rennsli Tungnaár við Sigöldufoss 1989 – 2015 (Tafla 4). Sjá útskýringar á breytum í töflu fremst í viðauka

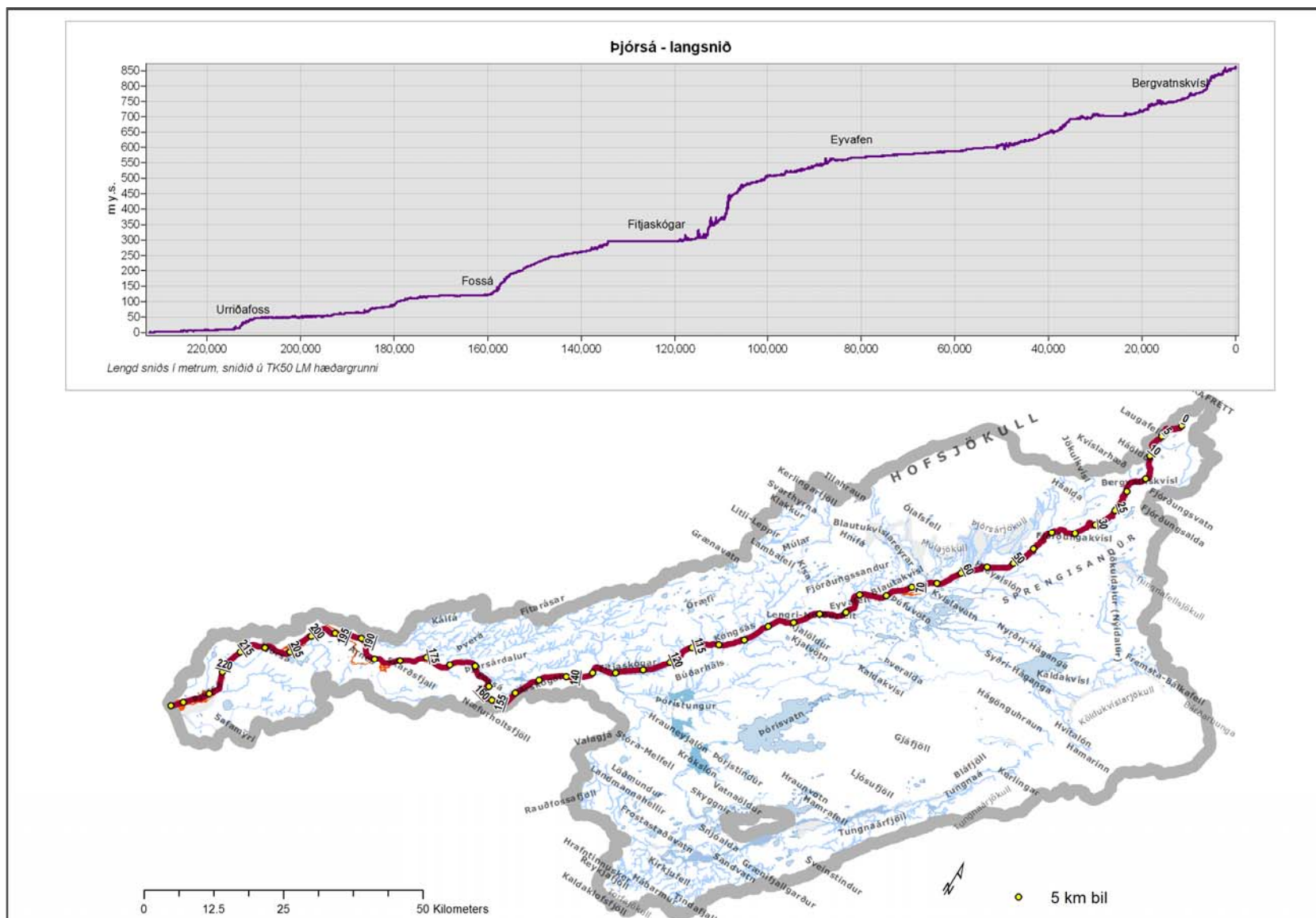
Year	1-day min	3-day min	7-day min	30-day min	90-day min	1-day max	3-day max	7-day max	30-day max	90-day max	Zero days	Base flow	Date min	Date max	Lo pulse #	Lo pulse L	Hi pulse #	Hi pulse L	Rise rate	Fall rate	Reversals	Oct lowf	Nov lowf	Dec lowf	Jan lowf	Feb lowf	Mar lowf	Apr lowf	May lowf	June lowf	July lowf	Aug lowf	Sept lowf
1983	16	16	16	17	17	25	25	25	24	22	0	0,89	123	239	0		4	21	0,2	-0,2	22	17	17	17	17	17	17	17					
1984	14	14	14	14	16	230	190	129	60	32	0	0,68	203	158	0		2	75	0,2	-0,2	40	17	16	15	16	16	15	16	17		14	16	
1985	17	17	17	17	17	109	101	93	73	45	0	0,67	340	155	0		4	26	0,5	-0,3	40			17	18	17	17	17	17				
1986	16	17	17	17	17	82	77	65	52	44	0	0,68	30	175	0		8	8	0,2	-0,3	40			17	17	17	17	17	17				
1987	12	12	13	14	17	221	212	190	167	90	0	0,37	234	197	1	4	5	9	0,2	-0,2	50	17	17	17	17	17	17	17	17			13	14
1988	14	14	14	14	14	102	98	83	43	33	0	0,67	284	223	0		3	15	0,4	-0,2	33	14	14	14	17	17	17	17	17				17
1989	15	15	16	17	17	149	144	142	91	59	0	0,57	269	166	0		6	22	0,3	-0,4	42	17	17	17	18	18	17	17	17				16
1990	15	15	15	16	16	285	252	173	83	61	0	0,54	309	168	0		3	9	1,2	-0,6	44	16	16	17	18	17	17	17	16				
1991	16	16	16	16	16	153	145	126	91	65	0	0,55	78	152	0		3	6	0,3	-0,5	56	17	17	16	17	17	16	17	18				17
1992	14	15	15	15	17	264	247	213	156	87	0	0,43	253	150	0		4	22	0,3	-0,7	40	17	17	17	17	17	17	17	17			17	15
1993	13	13	13	13	16	209	206	203	169	100	0	0,35	229	192	1	1	3	19	0,9	-0,9	60	17	16	17	17	17	17	17	17			13	14
1994	14	14	14	15	18	218	202	176	134	88	0	0,41	275	213	0		12	8	0,5	-2,3	51	15	18	18	18	18	18	18	17			18	17
1995	14	14	14	15	16	163	141	115	77	49	0	0,57	273	225	0		6	7	2,4	-0,5	33	17	17	17	17	17	17	17	15	17	16	17	15
1996	14	14	14	14	16	145	132	123	68	41	0	0,55	167	103	0		5	21	0,5	-0,3	33	14	16	17	17	17	17	17	17	14	15	17	17
1997	15	15	15	15	16	90	82	77	43	27	0	0,79	114	235	0		7	5	0,3	-0,3	42	17	16	16	15	16	16	16	15	15	15	18	17
1998	14	14	14	14	14	27	23	20	17	16	0	0,89	176	137	0		1	3	0,3	-0,3	30	17	16	17	17	16	16	16	15	14	14	14	15
1999	14	14	14	14	15	17	17	17	16	15	0	0,93	274	346	0		0		0,3	-0,3	35	14	15	16	15	15	15	15	16	14	14	15	14
2000	13	13	13	14	14	107	96	84	58	35	0	0,66	284	227	2	2	4	8	0,4	-0,5	34	15	15	15	15	15	14	14	15	16	17	17	17
2001	14	14	14	14	15	86	75	51	25	19	0	0,84	99	131	0		2	9	0,3	-0,3	45	16	15	16	16	16	15	15	16	15	14	14	15
2002	12	12	12	12	12	127	118	82	33	21	0	0,68	198	112	1	109	5	7	0,3	-0,3	51	15	14	16	16	15	14	14	14	13	12	12	12
2003	5	5	5	11	12	242	213	171	112	76	0	0,13	96	101	7	8	9	6	3,0	-2,3	51	13	12	13	13	13	12		15	13		15	15
2004	9	9	10	11	12	207	175	154	129	74	0	0,27	273	71	6	14	6	18	6,8	-2,1	40	14	13	11	12	13	13	15	12	13	15		15
2005	7	7	7	9	13	350	285	163	103	46	0	0,27	165	111	16	4	6	4	0,3	-0,3	150	14	13	13	13	14	15	13	13	14	14	13	12
2006	7	8	9	11	12	164	160	139	95	45	0	0,41	292	230	5	11	5	3	0,2	-0,1	101	12	13	13	13	14	14	13	14	14	12	11	12
2007	12	12	12	12	13	215	152	92	32	22	0	0,71	214	365	13	4	5	4	0,1	-0,1	125	13	13	13	13	13	13	14	14	14	12	13	13
2008	10	10	11	12	13	81	70	49	26	20	0	0,66	45	356	5	2	8	4	0,1	-0,1	133	14	13	13	14	13	14	14	15	14	14	15	15
2009	6	7	8	12	14	299	258	250	185	142	0	0,18	249	220	3	28	5	4	0,1	-0,1	147	15	15	15	15	14	15	15	14	11			11
2010	9	9	9	10	10	195	101	99	48	24	0	0,58	133	348	9	13	7	3	0,6	-0,5	179	11	12	11	11	11	11	11	11	11	11	12	11
2011	9	9	9	10	11	201	172	125	70	43	0	0,41	164	210	9	9	8	7	0,3	-0,3	161	11	11	11	11	11	11	11	12	11	11	11	12
2012	8	9	9	9	9	105	90	60	44	24	0	0,62	50	205	4	95	4	9	0,3	-0,3	190	11	11				11	11	11	11	11	12	11
2013	10	10	10	10	10	91	63	38	17	15	0	0,82	313	58	7	28	5	3	0,1	-0,1	155				11	11	11	11	11	11	11	11	
2014	9	9	9	9	10	11	11	11	11	11	0	0,92	63	133	0		0		0,0	0,0	145	11					11	11	11	11			11
2015	10	10	10	10	11	38	31	27	16	15	0	0,86	295	174	4	19	4	4	0,1	-0,1	142	11	11	11	11	11	11	11	11	12	11	11	11

Viðauki 9. IHA breytur fyrir rennsli Þjórsár við Sandafell 1963 – 2015 (Tafla 4). Sjá útskýringar á breytum í töflu fremst í viðauka.

Year	1-day min	3-day min	7-day min	30-day min	90-day min	1-day max	3-day max	7-day max	30-day max	90-day max	Zero days	Base flow	Date min	Date max	Lo pulse #	Lo pulse L	Hi pulse #	Hi pulse L	Rise rate	Fall rate	Reversals	Oct lowf	Nov lowf	Dec lowf	Jan lowf	Feb lowf	Mar lowf	Apr lowf	May lowf	June lowf	July lowf	Aug lowf	Sept lowf	
1963	87	119	138	146	189	829	810	654	495	419	0	0	268	63	3	2	11	6	26	-12	92	236	186	237	168	148	193	179	244		299	295	213	
1964	79	87	106	133	172	771	623	533	415	389	0	0	359	18	4	5	15	3	18	-19	114	174	146	143	209	216	219	197	250	299		240	199	
1965	83	95	128	136	171	617	585	531	427	382	0	0	320	205	6	4	15	3	21	-13	94	236	207	166	131	207	140	202	282	272	294	259	202	
1966	119	122	124	139	182	856	781	710	575	489	0	0	331	294	3	2	11	2	2	-21	80	216	134	153	212	276	314			310	303	240		
1967	85	95	106	109	148	1275	1023	900	673	449	0	0	309	163	14	4	12	2	11	-16	113	147	148	128	140	138	108	179	244	306	289	287	276	
1968	72	88	107	123	162	1714	1519	1241	759	503	0	0	289	151	10	3	11	3	14	-11	88	150	131	206	127	138	147	183	166	266		302	289	
1969	125	143	146	162	237	975	906	793	610	492	0	0	331	148	1	2	14	8	8	-28	91	179	216	215	154	262	190	222	241	304	305		268	
1970	148	149	150	158	173	827	766	721	601	501	0	0	84	158	0		7	9	18	-3	90	257	188	172	184	176	163	152			304		233	
1971	141	148	151	154	157	1079	869	795	602	470	0	1	317	345	0		9	7	14	-6	88	213	196	164	161	158	155	193			272	280		
1972	150	161	162	169	202	970	916	882	653	489	0	1	284	129	0		9	7	18	-6	94	210	191	169	251	183	192	183	215	298		301	265	
1973	192	201	209	231	260	648	622	594	487	441	0	1	295	173	0		16	5	10	-23	96	236	244	249	241	236	246	294	286	292		277	271	
1974	194	199	202	211	226	961	885	748	629	537	0	1	55	117	0		8	8	14	-12	88	230	255	233	214	230	257		302			271	234	
1975	183	190	195	198	205	882	803	682	521	475	0	1	273	151	0		3	10	1	-1	48	261	225	216	205	197	213	233	251				239	
1976	192	198	216	233	265	1111	1087	1011	840	685	0	1	304	148	0		10	3	19	-17	133	236	250	231	271	271	268	241	236					
1977	154	158	163	171	203	952	788	744	448	414	0	1	132	144	0		9	3	15	-12	136	268	246	268	280	250	215	184	164	203	283	271	201	
1978	160	164	170	178	191	823	746	591	510	433	0	1	92	131	0		4	24	13	-16	169	187	212	203	236	209	183	177	180	279	316		206	
1979	162	169	179	192	207	904	821	699	530	392	0	1	106	163	0		11	3	15	-13	173	187	212	220	225	207	223	196	201		293	281	206	
1980	150	163	171	178	189	1191	1086	995	650	460	0	1	74	139	0		9	6	17	-13	192	191	208	213	223	196	179	182	220		289	301	277	
1981	135	145	148	168	186	1093	1053	1022	654	471	0	0	95	142	0		8	13	15	-16	164	265	238	236	220	181	172	168	243	289	289	304	257	
1982	150	159	169	184	195	1024	987	920	653	481	0	1	361	155	0		9	4	16	-14	189	228	205	198	185	185	190	195	210	312	310	265	181	
1983	150	161	170	176	185	848	756	740	609	460	0	1	301	176	0		6	5	14	-13	172	181	206	203	218	181	187	183	215		298	304	223	
1984	152	183	189	197	212	1234	1163	1095	724	584	0	1	128	157	0		6	7	13	-12	151	196	215	223	225	210	236	213	225			233	263	
1985	162	177	188	196	202	764	709	642	400	356	0	1	111	142	0		7	10	12	-10	145	206	207	206	210	194	208	198	214	289	293	254	209	
1986	160	166	173	190	198	648	613	555	463	406	0	1	138	166	0		13	1	10	-12	142	210	236	220	210	205	203	199	186		299	301	257	
1987	166	170	179	191	208	597	586	576	529	465	0	1	98	161	0		5	3	12	-11	127	233	230	226	206	206	223	198	245				253	
1988	199	212	215	229	234	802	709	577	442	382	0	1	56	144	0		21	2	11	-11	136	236	241	233	246	249	225	232	224	305	299	296	275	
1989	179	188	193	200	211	1427	1341	1228	846	582	0	1	114	170	0		8	4	13	-12	128	225	243	257	243	238	218	213	208	268		299	286	
1990	194	203	206	211	230	970	924	826	599	472	0	1	306	152	0		8	2	13	-11	145	238	233	252	252	237	238	214	214	295	295		271	
1991	196	202	204	223	237	930	894	833	642	560	0	1	319	150	0		7	2	17	-15	136	238	229	263	256	249	220	228	236	305			274	
1992	126	148	165	200	213	1114	1070	1009	818	571	0	1	266	149	1	1	7	4	13	-15	128	233	216	219	232	232	224	207	202			273	232	
1993	176	188	189	204	213	995	935	815	645	482	0	1	290	163	0		8	4	13	-10	97	227	210	219	217	245	248	205	248			309	284	
1994	169	173	175	211	229	722	655	546	466	423	0	1	282	162	0		10	7	13	-11	102	234	282	256	234	234	232	214	252	306	295		279	
1995	171	187	192	200	220	937	877	818	605	481	0	1	107	164	0		11	2	17	-12	126	250	227	246	229	229	223	201	236		300		279	
1996	182	186	199	209	228	697	667	607	491	430	0	1	98	262	0		10	4	14	-13	143	212	219	233	212	224	227	227	276	284				
1997	189	195	204	219	232	1114	1056	998	583	471	0	1	28	152	0		7	7	12	-14	125	273	250	229	217	250	250	240	219	298			306	
1998	205	218	230	248	263	540	498	467	417	360	0	1	274	350	0		17	3	15	-10	119	267	259	261	248	266	279	240	247	248	309	284	245	
1999	155	162	190	212	218	624	620	527	410	370	0	1	297	138	0		13	7	12	-10	126	214	217	232	238	279	275	262	290	302	295	289		
2000	1	1	1	1	1	14	488	378	310	262	202	0	0	249	319	8	3	1	2	13	-1	51	257	221	126	138	120	102	84	66	48	30	11	2
2001	1	1	1	1	1	277	236	141	37	14	0	0	185	288	3	202	0		0	0	81	2					2	2	82	5	2	2	2	
2002	1	1	1	1	1	637	440	269	153	115	0	0	141	10	10	8	2	2	5	-1	99	16	2	3	4	2	5	2	89	49	82	151	26	
2003	1	1	1	4	25	689	651	522	406	274	0	0	300	110	10	21	8	4	17	-9	87	26	87	120	3	2	4	113	15	45	199	273	130	
2004	1	1	1	2	2	553	486	339	238	148	0	0	237	70	12	12	6	2	21	-12	81	3	2	2	2	2	20	63	36	63	131	177	106	
2005	0	0	0	0	2	420	401	370	266	167	0	0	242	208	8	20	3	5	0	-1	89	3	2	2	2	7	9	24	91	91	98	148		
2006	1	1	1	1	1	381	318	272	186	152	0	0	275	129	13	5	3	2	0	-35	55								3	130	128	150	115	
2007	1	1	1	2	5	1068	729	451	187	143	0	0	135	355	12	5	5	2	6	-4	139	4	2	4	5	2	3	69	68	84	86	57	102	
2008	1	2	40	95	163	648	586	564	486	450	0	0	293	355	15	3	14	4	16	-13	144	92	178	180	303	282	129	143	198	251	313		310	
2009	1	1	1	14	61	354	341	341	326	203	0	0	258	187	24	6	3	2	13	-3	139	311	147	134	145	135	161	80	86	75	75	59	5	
2010	1	1	1	1	19	416	346	312	209	134	0	0	185																					

Viðauki 10. IHA breytur fyrir rennsli Þjórsár við Krók 1959 – 2015 (Tafla 4). Sjá útskýringar á breytum í töflu fremst í viðauka.

Year	1-day min	3-day min	7-day min	30-day min	90-day min	1-day max	3-day max	7-day max	30-day max	90-day max	Zero days	Base flow	Date min	Date max	Lo pulse #	Lo pulse L	Hi pulse #	Hi pulse L	Rise rate	Fall rate	Reversals	Oct lowf	Nov lowf	Dec lowf	Jan lowf	Feb lowf	Mar lowf	Apr lowf	May lowf	June lowf	July lowf	Aug lowf	Sept lowf	
1959	169	191	207	260	276	1245	1104	1046	759	612	0	0	67	146	4	3	10	16	39	-23	81	405	405	284	282	282	353	261	270	377	426	426	428	
1960	179	249	281	315	328	832	755	731	561	503	0	1	18	85	1	1	9	6	23	-24	56	325	325	325	325		348	311	342	405	438	380	340	
1961	181	181	194	223	273	1138	998	890	697	502	0	0	93	133	9	5	6	3	21	-25	80	232	221	224		428	299	219		342	389	386	352	
1962	162	185	187	213	233	931	924	801	662	491	0	1	330	122	14	4	9	4	21	-18	114	305	248	256	217	229	215	198	359	340	403	368	325	
1963	164	179	188	208	241	1108	1031	764	562	456	0	1	35	64	15	4	9	4	25	-21	94	303	239	235	207	235	235	268	286	383	345	350	284	
1964	157	165	191	241	258	915	733	598	455	427	0	1	313	89	10	4	15	3	24	-23	95	226	260	260	328	265	289	259	290	350	389	333	228	
1965	102	129	143	182	236	686	642	564	446	402	0	0	64	38	15	8	13	2	23	-18	106	275	314	210	212	298	212	263	328	298	399	337	235	
1966	114	114	115	134	160	1175	1037	883	667	515	0	0	54	295	8	14	8	5	20	-19	99	228	333	207	237		232	207	260	405	396	385	286	
1967	117	127	144	157	212	1492	1238	1082	825	519	0	0	73	164	12	10	10	3	22	-18	111	211	235	207	237	223		258	301	400	386	323	317	
1968	101	126	140	163	220	1618	1573	1369	868	574	0	0	80	152	11	6	11	4	24	-27	106	238	251	239	219		274	316	218	361	377	330	319	
1969	52	81	133	198	270	1084	1019	891	691	536	0	0	353	149	10	6	15	4	31	-30	101	201	359	243	209	309	299	299	248	285	392	370	408	319
1970	162	166	183	188	202	926	857	809	689	543	0	1	317	160	14	6	13	2	26	-23	115	305	208	221	325	220	205	211	303	434	371	415	263	
1972	137	181	204	245	284	1132	1081	1041	765	557	0	1	313	130	14	3	17	3	26	-27	136	309	268	244	345	227	263	232	270	396	434	380	328	
1973	211	232	241	261	300	764	708	677	531	486	0	1	302	11	3	1	11	3	26	-22	135	303	270	265	314	303	342	342	346	352	408	362	339	
1974	169	212	236	268	277	1213	1048	848	735	604	0	1	353	99	2	2	15	4	27	-20	126	286	303	288	270	280	319		365	408	399	389	301	
1975	190	199	219	253	268	991	891	753	568	507	0	1	83	152	12	1	13	4	18	-21	138	254	269	277	294	252	277	266	306	386	405	428	309	
1976	215	226	230	293	329	1338	1295	1188	973	774	0	0	279	150	3	1	9	2	30	-27	142	277	293	321	295	326	322	298	302				380	
1977	166	174	187	211	250	1084	906	847	479	429	0	1	163	145	10	3	11	2	15	-16	160	317	280	288	307	297	264	235	207	342	370	306	232	
1978	159	196	199	216	234	915	814	653	564	462	0	1	354	132	30	2	9	5	17	-17	163	218	230	289	232	221	227	237	328	374	405	230		
1979	179	189	199	232	249	1150	1013	812	604	433	0	1	283	164	14	1	7	2	15	-12	157	219	252	260	258	260	253	248	232	411	359	336	232	
1980	181	188	195	203	236	1420	1330	1172	723	506	0	1	90	140	22	2	10	1	15	-16	170	217	228	239	253	244	205	246	270	377	380	368	325	
1981	155	188	201	221	252	1358	1324	1275	769	528	0	1	64	143	19	2	12	2	20	-23	162	314	251	248	265	228	239	311	323	359	392	386	295	
1982	183	199	208	225	243	1258	1182	1076	749	544	0	1	2	156	25	2	11	2	18	-16	166	248	224	246	219	250	228	253	254	396	376	314	218	
1983	188	196	203	207	233	1003	883	871	705	526	0	1	121	23	17	2	9	3	18	-15	149	215	230	246	254	264	242	207	253	388	368	407	264	
1984	190	206	212	236	253	1477	1396	1288	830	647	0	1	291	158	7	2	10	3	23	-16	140	230	261	251	256	270	277	260	275	392		418	321	
1985	200	208	212	223	240	802	790	692	436	377	0	1	85	143	18	3	5	1	13	-11	154	237	232	242	252	246	237	224	240	356	323	359	225	
1986	198	198	199	222	248	722	695	624	510	440	0	1	135	168	17	1	8	4	15	-18	139	231	284	244	251	277	239	240	221	424	383	339	280	
1987	209	218	230	248	259	651	640	633	575	488	0	1	302	158	6	2	7	2	16	-12	146	301	260	265	253	256	272	245	301	415	434	368	295	
1988	224	232	238	245	266	863	774	620	479	410	0	1	328	145	4	1	8	2	16	-15	141	268	276	285	260	268	280	246	310	362	356	374	319	
1989	213	224	228	255	267	1784	1611	1473	962	635	0	1	301	172	4	2	4	3	18	-15	143	256	288	314	295	293	258	261	277	328	412	380	365	
1990	226	235	240	246	251	1144	1033	920	666	511	0	1	110	154	2	1	9	4	17	-18	148	303	258	293	285	248	253	245	333	385	330	403	365	
1991	207	210	222	249	271	1120	1098	985	660	598	0	1	323	152	4	3	7	4	22	-18	143	282	251	303	319	307	256	256	394	374	418	434	333	
1992	148	174	196	233	262	1413	1275	1213	957	627	0	1	267	150	7	2	10	6	18	-21	165	272	252	285	293	303	275	236	250	386	418	402	289	
1993	200	208	224	239	252	1126	1031	889	700	512	0	1	292	164	12	1	9	3	16	-17	147	265	251	253	253	313	295	238	325	377	365	374	371	
1994	194	203	213	239	262	778	752	624	484	451	0	1	288	164	3	8	9	4	14	-14	134	260	350	298	263	268	260	235	350	380	408	377	326	
1995	202	219	223	246	261	986	934	862	638	498	0	1	108	165	5	2	7	3	17	-17	130	303	268	288	253	246	272	248	282	416	350	411	326	
1996	169	207	219	233	260	717	683	631	514	447	0	1	96	263	8	2	15	2	16	-14	168	239	240	265	246	275	263	258	317	356	402	411	436	
1997	209	216	225	249	258	1331	1263	1183	662	505	0	1	3	154	5	1	8	8	18	-16	133	322	263	258	256	274	290	309	272	349	392	416	337	
1998	228	239	245	268	291	630	550	475	424	370	0	1	261	351	1	1	9	3	14	-16	140	311	295	294	270	289	299	257	377	305	347	377	285	
1999	186	188	218	240	254	686	680	581	440	400	0	1	297	140	7	3	7	5	18	-13	137	242	244	275	256	313	288	281	365	350	371	362	350	
2000	202	212	229	270	287	997	913	769	504	452	0	1	44	139	2	2	16	2	16	-17	159	295	306	298	282	270	314	289	359	359	380	386	345	
2001	230	235	248	253	272	664	574	531	367	337	0	1	317	129	0		2	4	12	-14	181	309	254	265	301	297	295	295	322	289	317	322	340	
2002	244	253	258	275	305	1372	994	734	507	461	0	1	58	11	0		18	4	18	-18	158	317	339	336	336	298	287	304	330	373	392	398	347	
2003	182	209	240	259	277	1104	1064	913	647	553	0	1	6	111	3	2	9	3	18	-16	152	313	259	301	268	288	330	329	359	346	380		389	
2004	190	232	239	279	288	1019	945	717	548	453	0	1	329	52	2	1	19	2	24	-21	162	288	281	300	283	321	317	336	346	371	408	329	358	
2005	229	235	243	272	291	774	677	663	550	456																								





HAFRANNSÓKNASTOFNUN

Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna