

Aðferðir við mat á mjög góðu vatnsformfræðilegu ástandi straum- og stöðuvatna

Svava Björk Þorláksdóttir
Eydís Salome Eiríksdóttir
Póra Hrafnisdóttir
Tinna Þórarinsdóttir





NÁTTÚRUFRAEÐISTOFNUN ÍSLANDS



HAFRANNSÓKNASTOFNUN
Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna



Veðurstofa Íslands

Aðferðir við mat á mjög góðu vatnsformfræðilegu ástandi straum- og stöðuvatna

Svava Björk Þorláksdóttir¹
Eydís Salome Eiríksdóttir²
Póra Katrín Hrafnisdóttir³
Tinna Þórarinsdóttir¹

¹Veðurstofa Íslands

²Hafrannsóknastofnun

³Náttúrufræðistofnun Íslands

Veðurstofa Íslands
Bústaðavegur 7-9
105 Reykjavík

+354 522 6000
vedur@vedur.is

Skýrsla

HV 2023-35
NÍ 23005
VÍ 2023-011

Lykilsíða

Skýrsla nr. VÍ 2023-011 HV 2023-35 NÍ 23005	Dags. 18. desember 2023	ISSN 1670-8261	Dreifing: Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/> Skilmálar:
Heiti skýrslu: Aðferðir við mat á mjög góðu vatnsformfræðilegu ástandi straum- og stöðuvatna			Upplag: Rafrænt Fjöldi síðna: 52 Deildarstjóri: Tinna Þórarinsdóttir
Höfundar: Svava Björk Þorlákssdóttir, Eydís Salome Eiríksdóttir, Þóra Hrafnadóttir og Tinna Þórarinsdóttir			Verkefnisstjóri: Svava Björk Þorlákssdóttir Verknúmer: 4605
Gerð skýrslu/verkstíg:			Málsnúmer: 2021-0180
Unnið fyrir: Umhverfisstofnun			
Samvinnuaðilar: Hafrannsóknastofnun, Náttúrufræðistofnun Íslands.			
Útdráttur: Í skýrslunni er lögð fram aðferðafræði til að meta vatnsformfræðilegt ástand straum- og stöðuvatna á Íslandi. Farið er yfir aðferðir sem nágrannaþjóðir hafa þróað til að meta slíkt ástand og byggir aðferðafræðin meðal annars á nálgun og reynslu þeirra. Sett eru fram flokkunarviðmið fyrir matsþætti sem ná yfir helstu vatnsformfræðilegar breytingar sem búast má við að vatnshlot á Íslandi verði fyrir vegna umsvifa mannsins. Flokkunarkerfið byggir á því að hvert vatnshlot fái eina heildareinkunn fyrir vatnsformfræði sem segir til um hvort það er í náttúrulegu (mjög góðu) ástandi hvað varðar vatnsformfræði, eða hvort það hafi orðið fyrir álagi sem hefur áhrif á vatnsformfræðilega gæðapætti. Jafnframt er gerð prófun á framlagðri aðferðafræði við mat á vatnsformfræði í nokkrum straum- og stöðuvatnshlotum. Niðurstöður prófananna benda til þess að aðferðin nái að greina áhrif af umfangsmiklum vatnsformfræðilegum breytingum sem helst má vænta í vatnshlotum á Íslandi og er niðurstaða þeirra í stórum dráttum í samræmi við fyrri niðurstöður mats á vatnsformfræði vatnshlota á virkjanasvæðum. Vinna þessarar skýrslu er skv. samningi Umhverfisstofnunar við fagstofnanir og í samræmi við vatnaáætlun Íslands 2022–2027.			
Lykilorð: Vatnsformfræði, straumvötn, stöðuvötn, mjög gott vatnsformfræðilegt ástand, aðferðafræði, flokkunarkerfi, matsþáttur.			Undirskrift deildarstjóra:  Undirskrift verkefnisstjóra: Svava B. Þorlákssd. Yfirfarið af: JH, TP

Efnisyfirlit

1 Inngangur	8
2 Aðferðafræðilegar nálganir í nágrannaríkjum.....	11
2.1 Straumvötn	11
2.1.1 Noregur.....	11
2.1.2 Finnland.....	11
2.1.3 Danmörk.....	13
2.2 Stöðuvötn	13
2.2.1 Noregur.....	13
2.2.2 Finnland.....	13
2.2.3 Danmörk.....	14
2.2.4 Svíþjóð	15
3 Hvað telst vera mjög gott vatnsformfræðilegt ástand á Íslandi?.....	17
3.1 Mat á vatnsformfræði straumvatna á Íslandi.....	18
3.2 Mat á vatnsformfræði stöðuvatna á Íslandi	20
3.3 Skilgreining á mjög góðu ástandi straum- og stöðuvatna	23
3.4 Skimun á vatnsformfræði straum- og stöðuvatna	24
4 Prófun á aðferðafræði	26
4.1 Straumvötn – prófun á aðferðafræði	26
4.2 Stöðuvötn – prófun á aðferðafræði	29
4.3 Tillögur að nýjum matsþáttum fyrir vatnsformfræði	31
5 Áhrif vatnsformfræðilegra gæðapátta á lífríki ferskvatns á Íslandi	33
5.1 Straumvötn	33
5.2 Stöðuvötn	35
5.2.1 Áhrif á vistkerfi í vatnsbol.....	36
5.2.2 Áhrif á vistkerfi á fjörusvæðum	37
6 Samantekt.....	38
Heimildir	40
Viðauki I. Aðferðir við mat á vatnsformfræðilegum gæðapáttum í straumvötnum	44
Viðauki II. Aðferðir við mat á vatnsformfræðilegum gæðapáttum í stöðuvötnum	48
Viðauki III. Flokkunarkerfi fyrir mat á vatnsformfræði straumvatna, að viðbættum matsþætti ...	51
Viðauki IV. Flokkunarkerfi fyrir mat á vatnsformfræði stöðuvatna, að viðbættum matsþætti	52

Myndaskrá

Mynd 1. Flæðirit sem sýnir ferli við vistfræðilega ástandsflokkun yfirborðsvatnshlota.....	10
Mynd 2. Framsetning á mati á vatnsformfræðilegu ástandi vatnshlota í Finnlandi	12
Mynd 3. Gæða- og matsþættir sem notaðir eru í Svíþjóð til að meta ástand stöðuvatna.....	15
Mynd 4. Tillaga að skimunarferli við mat á vatnsformfræðilegu ástandi straum- og stöðuvatna	25

Töfluskrá

Tafla 1. Yfirlit yfir vatnsformfræðilega gæða- og matsþætti straumvatna	9
Tafla 2. Yfirlit yfir vatnsformfræðilega gæða- og matsþætti stöðuvatna	9
Tafla 3. Finnskur kvarði sem notaður er við mat á vatnsformfræðilegu ástandi í ám	12
Tafla 4. Viðmið við mat á vatnsformfræðilegum breytingum í finnskum stöðuvötnum.....	14
Tafla 5. Dæmi um nálgun Svía við mat á vatnsformfræðilegum gæðapáttum	16
Tafla 6. Lýsing á mjög góðu vatnsformfræðilegu ástandi í straum- og stöðuvötnum.....	17
Tafla 7. Flokkunarviðmið til að meta vatnsformfræðilegar breytingar í straumvötnum	19
Tafla 8. Flokkunarviðmið til að meta vatnsformfræðilegar breytingar í stöðuvötnum	21
Tafla 9. Tillaga að skilgreiningu á mjög góðu vatnsformfræðil. ástandi straum- og stöðuvatna ..	23
Tafla 10. Prófun á aðferðafræði við mat á vatnsformfræði nokkurra straumvatnshlota.....	27
Tafla 11. Samanburður á forsendum við flokkun á vatnsformfræði stöðuvatna	29
Tafla 12. Prófun á aðferðafræði við mat á vatnsformfræði nokkurra stöðuvatnshlota.....	30
Tafla 13. Tillaga að matsþætti fyrir vatnsformfræði straumvatna	32
Tafla 14. Tillaga að matsþætti fyrir vatnsformfræði stöðuvatna	32
Tafla 15. Helstu áhrif rennslisbreytinga á lífríki í straumvötnum	34

1 Inngangur

Í samræmi við rammatilskipun Evrópusambandsins um verndun vatns (Directive, 2000/60/EC) voru sett lög á Alþingi um stjórn vatnamála, lög nr. 36/2011, og á grundvelli þeirra reglugerð nr. 535/2011 um flokkun vatnshlota, eiginleika þeirra, álagsgreiningu og vöktun sem og reglugerð um stjórn vatnamála nr. 935/2011. Umhverfisstofnun hefur umsjón með framkvæmd innleiðingar vatnatilskipunarinnar sem nær yfir ferskvatn, árósavatn, strandsjó og grunnvatn. Meginmarkmið lagarammans er að vernda vatn og vatnavistkerfi og tryggja gæði vatns til lengri tíma. Umhverfisstofnun hefur gert samninga við Hafrannsóknastofnun, Náttúrufræðistofnun Íslands og Veðurstofu Íslands um vinnu að verkefnum er varða stjórn vatnamála.

Eitt af markmiðum reglugerðar um flokkun vatnshlota, eiginleika þeirra, álagsgreiningu og vöktun (nr. 535/2011) er að meta vistfræðilegt ástand vatnshlota til þess að tryggja gott ástand þeirra. Ástand yfirborðsvatnshlota skal ákvarðað með því að skilgreina og afmarka líffræðilega, eðlisefnafræðilega og vatnsformfræðilega gæðapætti sem endurspeglar vistfræðilegt ástand ferskvatns. Búið er að skilgreina flokkunarkerfi til ástandsflokkunar straum- og stöðuvatna sem byggir á líffræðilegum og eðlisefnafræðilegum gæðapáttum (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2020). Lögð hafa verið drög að flokkunarkerfi fyrir vatnsformfræðilega gæðapætti, en eftir er að skilgreina töluleg mörk fyrir viðmiðunargildi og ástandsflokka miðað við samþykka gæða- og matspætti sem lýsa vatnsformfræði straum- og stöðuvatna (Gerður Stefánsdóttir o.fl., 2021). Slík skilgreining er nauðsynleg til að hægt sé að nota vatnsformfræðilega gæðapætti til ástandsflokkunar vatnshlota.

Í III. viðauka reglugerðar nr. 535/2011 eru skilgreindir þrjú vatnsformfræðilegir gæðapættir til að lýsa vatnsformfræðilegum skilyrðum straumvatna (hér eftir nefnt vatnsformfræði); vatnsbúskapur, samfella og formfræðileg skilyrði, og tveir gæðapættir eru skilgreindir fyrir vatnsformfræði stöðuvatna; vatnsbúskapur og formfræðileg skilyrði. Vegna forgangsroðunar verkefna og fjármagns í vinnu við stjórn vatnamála var lögð meiri áherslu á líffræðilega og eðlisefnafræðilega gæðapætti en vatnsformfræðilega gæðapætti í fyrsta vatnahring (Umhverfisstofnun, 2022). Á grunni þessa óskaði Umhverfisstofnun eftir því við fagstofnanir að unnið væri með tvo vatnsformfræðilega gæðapætti í fyrsta vatnahring og var það forsenda við gerð skýrslu Veðurstofnu Íslands um tillögu að vatnsformfræðilegum gæða- og matspáttum (Gerður Stefánsdóttir o.fl., 2021). Í kjölfar tillagna sem fram komu í skýrslu Veðurstofunnar samþykkti Umhverfisstofnun (með bréfi dagsettu 16. nóvember 2021) tvo vatnsformfræðilega gæðapætti fyrir straum- og stöðuvötn með viðeigandi matspáttum. Mat á ástandi hvers gæðapáttar byggir á allt að sjö matspáttum sem taldir eru nauðsynlegir til þess að meta ástand viðkomandi gæðapáttar. Samþykka gæða- og matspætti má sjá í töflum 1 og 2.

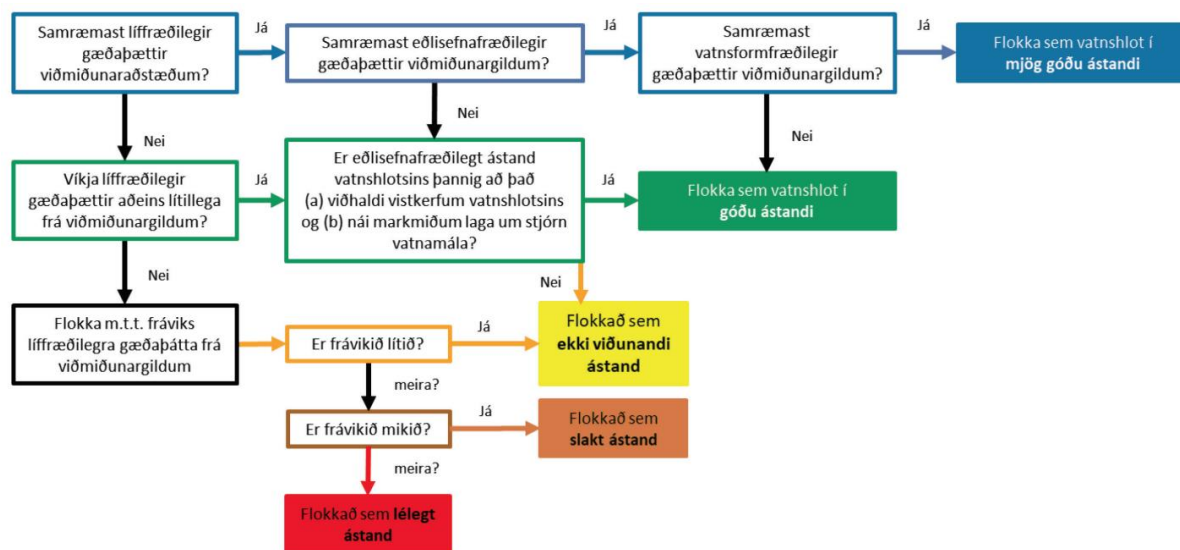
Tafla 1. Yfirlit yfir vatnsformfræðilega gæða- og matsþætti straumvatna sem samþykktir hafa verið hérlendis.

Gæðapáttur	Matspáttur	Bergvatnsár	Jökulár
Vatnsbúskapur/ Rennlishættir	Heildarrennsli	x	x
	Lágrennsli sumar	x	x
	Lágrennsli vetur	x	x
	Tíðni 1 árs flóða	x	x
	Tíðni 10 ára flóða	x	x
	Skammtíma rennslisbreytingar	x	
	Hraði rennslisbreytinga	x	
Samfella ár	Flóðvarnargarðar	x	x
	Mannvirki önnur en stíflur	x	
	Stíflur í farvegi	x	x
	Uppskipting farvegjar	x	x
	Lónaáhrif	x	x
	Uppistöðuáhrif	x	x
	Svifausbreytingar		x

Tafla 2. Yfirlit yfir vatnsformfræðilega gæða- og matsþætti stöðuvatna sem samþykktir hafa verið hérlendis.

Gæðapáttur	Matspáttur	Bergvötn	Jökulvötn
Vatnsbúskapur/ Rennlishættir	Árlegt innrennsli	x	x
	Breytingar á vatnsstöðu	x	x
	Heildarrúmmálsbreytingar	x	x
	Viðstöðutími	x	
	Vatnsstöðubreytingar við hæstu vatnsstöðu	x	x
	Vatnsstöðubreytingar við lægstu vatnsstöðu	x	x
Formfræði	Flatarmál sem fer á þurrt	x	
	Fjörusvæði sem fara á þurrt	x	
Samfella	Hindranir ofan til á vatnasviði sem hindra setferla		x

Í skýrslu um vistfræðileg viðmið við ástandsflokkun straum- og stöðuvatna á Íslandi (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2020) má finna flæðirit sem sýnir ferli við vistfræðilega ástandsflokkun líkt og gert er ráð fyrir í Vatnatilskipun (WFD CIS, 2003). Samkvæmt flæðiritinu þarf vatnshlot í fyrsta lagi að standast viðmið um líffræðilega gæðapætti, í öðru lagi að mæta kröfum um eðlisefnafræðilega gæðapætti og loks vatnsformfræðilega gæðapætti (mynd 1). Vatnsformfræðilegir gæðapættir ásamt eðlisefnafræðilegum gæðapáttum eru því hugsaðir til stuðnings við líffræðilega gæðapætti. Þannig geta góð vatnsformfræðileg skilyrði, þ.e. óraskaður vatnsbúskapur, samfella og formfræði, bent til þess að lífríki sé í góðu ástandi. Jafnvel þó að mat á vatnsformfræðilegu ástandi sé einungis krafa við skilgreiningu á mjög góðu ástandi, þá er mat á vatnsformfræðilegum aðstæðum nauðsynlegt fyrir ástandsgreiningu allra vatnshlota.



Mynd 1. Flæðirit sem sýnir ferli við vistfræðilega ástandsflokkun yfirborðsvatnshlota líkt og gert er ráð fyrir í lögum um stjórn vatnamála nr. 36/2011. Þýðing á mynd 3 í WFD CIS (2003).

Markmið þessarar skýrslu er að lýsa mjög góðu ástandi straum- og stöðuvatna með tilliti til framlagðra vatnsformfræðilegra gæðapátta (Gerður Stefánsdóttir o.fl., 2021).

Vinnan byggir á reglugerð nr. 535/2011 um flokkun vatnshlota, eiginleika þeirra, álagsgreiningu og vöktun. Jafnframt er stuðst við viðeigandi leiðbeiningaskjöl Vatnatilskipunar Evrópusambandsins (e. *Common Implementation Strategies (CIS)*), auk annarra leiðbeiningaskjala sem við eiga. Jafnframt hefur verið stuðst við aðferðafræði Norðmanna þar sem að í Noregi eru í mörgum tilfellum sambærilegar aðstæður og eru hér á landi (Bakken o.fl., 2018; 2019; Harby o.fl., 2018; 2020). Einnig er fjallað um mismunandi aðferðafræðilega nálgun í öðrum nágrannalöndum til samanburðar (kafla 2). Í kafla 3 er sett fram tillaga að lýsingu á mjög góðu ástandi straum- og stöðuvatna með tilliti til vatnsformfræðilegra gæðapátta á Íslandi. Aðferðafræðin er prófuð í kafla 4 og fjallað er um áhrif vatnsformfræðilegra gæðapátta á líffræðilega gæðapætti í 5. kafla. Í kafla 6 eru niðurstöðurnar dregnar saman.

2 Aðferðafræðilegar nálganir í nágrannaríkjum

Vatnsformfræðilegum gæðapáttum er ætlað að styðja við líffræðilega gæðapætti við flokkun á vistfræðilegu ástandi vatnshlota. Samhengi er á milli þessara þátta og miklar vatnsformfræðilegar breytingar geta haft umtalsverð áhrif á lífríki. Eins og fram kemur í köflunum sem á eftir fara hafa nágrannaþjóðir okkar lagt drög að aðferðum við ástandsflokkun vatnshlota út frá vatnsformfræðilegum gæðapáttum. Aðferðirnar eru mislangt á veg komnar og byggjast bæði á gögnum og sérfræðimati. Mjög gott ástand hefur verið skilgreint fyrir vatnsformfræðilega gæðapætti í Finnlandi, en ekki í öðrum löndum sem skoðuð voru samkvæmt aðgengilegum upplýsingum.

2.1 Straumvötn

2.1.1 Noregur

Norðmenn hafa lagt til aðferðafræði við mat á vatnsformfræðilegum breytingum í straumvötnum (Harby o.fl., 2018) og lá hún til grundvallar þegar fyrstu skref við mat á manngerðum og mikið breyttum vatnshlotum á Íslandi voru tekin (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020). Aðferðin byggir á mati á breytingum meðfram farvegi, þvert á farveg, í farvegi og breytingum á rennslisháttum (Harby o.fl., 2018; sjá nánar í kafla 3.1). Endurskoðuð skýrsla um vatnsformfræðilega gæðapætti í Noregi hefur verið lögð fram þar sem aðferðafræðin var prófuð á nokkrum vatnshlotum með tilliti til vistfræðilegs mikilvægis (Harby o.fl., 2020). Við endurskoðun skýrslunnar var aðferðafræðin prófuð og lögð var til breyting á nokkrum matsþáttum. Lagt var til að útreikningi yrði breytt á fjórum matsþáttum og að breytingar yrðu gerðar á aðferð við mat á tveimur þáttum. Einnig var vægi skammtímabreytinga á rennsli breytt. Þrátt fyrir að hafa prófað aðferðafræði sína á nokkrum vatnshlotum hafa Norðmenn enn ekki skilgreint mörk fyrir mjög gott vatnsformfræðilegt ástand

2.1.2 Finnland

Nálgun Finna er nokkuð í líkingu við aðferðafræði sem Norðmenn þróuðu, þar sem matsþættir eru skilgreindir og breytingar yfirleitt gefnar upp sem hlutfall frá náttúrulegu ástandi (Hellsten, 2022; Keto, 2014). Mælikvarði breytinga er gefinn upp í fimm flokkum, allt frá náttúrulegu ástandi vatnshlota upp í mjög miklar breytingar á vatnsformfræði þeirra (tafla 3). Mælikvarðinn sem notaður er í Finnlandi er lítillaga frábrugðinn þeim norska og íslenska. Finnski kvarðinn nær frá núll upp í fjögur stig þar sem lægsta einkunn endurspeglar náttúrulegt ástand, en norski og íslenski kvarðinn nær frá einum upp í fimm, þar sem hæsta einkunn gefur til kynna náttúrulegt ástand. Samkvæmt skilgreiningu Finna telst vatnshlot mikið breytt ef stigafjöldinn er ≥ 10 . Fjöldi stiga fyrir hvert vatnshlot er lagður saman og endurspeglar útkoman vatnsformfræðilegt ástand (mynd 2). Vatnshlot sem fá á bilinu frá 0 til 3 stig eru skilgreind í mjög góðu ástandi hvað varðar vatnsformfræðilega gæðapætti, þrátt fyrir að minniháttar breytingar hafi mögulega átt sér stað.

Tafla 3. Finniskur kvarði sem notaður er við mat á vatnsformfræðilegu ástandi í straumvötnum. Þýdd tafla úr erindi Hellsten (2022) og Keto (2014).

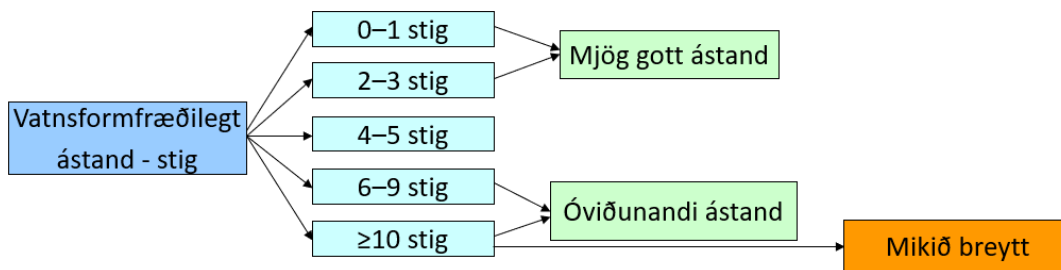
	Hindranir ofar á vatnasviði (%)	Lónaáhrif (%)	Breytingar á langsníði (%)	Umfang skammtíma-breytinga á rennsli ¹⁾ (HQwk-NQwk)/MQ	Breytingar á vorflóðum (%)
Mjög mikil áhrif (4 stig)	Farvegur nánast lokaður ³⁾ (90–100%)	> 50	> 50% Eyðing/veruleg neikvæðar breytingar á búsvæðum	Sérfræðimat ²⁾	>75%
Mikil áhrif (3 stig)	50–90%	>30–50	> 30–50% Búsvæði að mestu eydd /mikið breytt	Sérfræðimat ²⁾	> 50–75%
Nokkur áhrif (2 stig)	25–50%	>15–30	> 15–30% Allt að þriðjungur búsvæða hafa eyðst /mikið breytt	Sérfræðimat ²⁾	> 25–50%
Lítill áhrif (1 stig)	10–25%	5–15%	5–15% Minniháttar breytingar á náttúrulegum búsvæðum	Sérfræðimat ²⁾	10–25%
Náttúrulegt (0 stig)	< 10%	< 5%	< 5% Búsvæði eru náttúruleg	Sérfræðimat ²⁾	< 10%

¹⁾ Skammtíma-breytingar miðast við 7 daga og breytingar á ársgrundvelli (HQ-NQ reiknast út frá 7 daga gildum). HQ – hámarksrennsli; NQ – lágmarksrennsli; MQ – meðalrennsli.

²⁾ Taka skal til greina breytingar sem verða neðar á vatnasviði vegna rennslisbreytinga.

³⁾ Á ekki við um hindranir til skemmri tíma. Hægt að meta út frá rennslisáttum/breytingum.

Breytingar á vatnsformfræðilegri stöðu	Mælikvarði á vatnsformfræðilegar breytingar	Vatnsformfræðilegt ástand - stig
Engar breytingar	0	0–1
Litlar breytingar	1	2–3
Nokkrar breytingar	2	4–5
Miklar breytingar	3	6–9
Mjög miklar breytingar	4	≥10



Mynd 2. Framsetning á mati á vatnsformfræðilegu ástandi vatnshlota í Finnlandi. Vatnshlot sem fá 0–3 í einkunn eru skilgreind í mjög góðu ástandi. Þýdd mynd úr erindi Turunen & Hellsten (2022).

2.1.3 Danmörk

Í Danmörku var gerð tölfræðileg úttekt á áhrifum vatnsformfræðilegra breytinga á lífríki í straumvötnum með því að skoða niðurstöður evrópskra vísindalegra rannsókna sem gerðar hafa verið á vatnalífríki og vatnsformfræði á láglandi (Henriksen o.fl., 2019). Tölfræðilegar greiningar voru notaðar til að ákvarða hvaða vatnsformfræðilegu matsþættir endurspegluðu hvað best álag á líffræðilega gæðapætti (kísilþörungur, vatnablöntur, hryggleysingjar og fiskar) og var aðhvarfsgreining (e. *boosted regression tree analysis*) notuð í þessu sambandi þar sem hún hentar vel fyrir gagnasöfn sem ekki eru samfelld. Danir lögðu upp með sex gæðapætti sem voru rennslishættir, tengsl við grunnvatn, samfella, farvegabreytingar, botngerð og undirlag. Gæðapáttunum fylgdu svo 22 matsþættir sem skoðaðir voru í tengslum við lífríkið (Henriksen o.fl., 2019, sjá nánar í töflu 3 í kafla 4.1.1). Vatnsformfræðilegir matsþættir sem valdir voru til ástandsflokkunar straumvatna í Danmörku voru þeir þættir sem skýrðu meira en 10% af heildarbreytileika hvers líffræðilegs gæðapáttar. Aðeins voru tveir vatnsformfræðilegir matsþættir sem uppfylltu þessi skilyrði, annars vegar bugðustuðull (d. *slyngningsgrad*) og hins vegar breytingar í þversniði farvegar árinna (d. *tværnsnitsprofil*). Bugðustuðullinn lýsir hlutfalli á milli lengdar farvegar sem bugðast náttúrulega og lengdar sama farvegar ef hann hefur verið settur í beinan stökk. Breytingar á þversniði árinna voru metnar með því að greina hversu frábrugðinn farvegur straumvatnshlots er miðað við náttúrulegan farveg sem hefur tengingu við fjöru- og bakkasvæði og manngerðan farveg með minni tengingu við umhverfið. Í kjölfarið voru reiknuð mörk milli góðs og ekki viðunandi vatnsformfræðilegs ástands (Henriksen o.fl., 2019). Mörk fyrir mjög gott ástand vatnsformfræðilegra gæðapátta hafa ekki verið formlega skilgreind í Danmörku.

2.2 Stöðuvötn

2.2.1 Noregur

Norðmenn hafa lagt til aðferðafræði við mat á vatnsformfræðilegum breytingum í stöðuvötnum (Bakken o.fl., 2019). Líkt og fyrir straumvötn hafa Íslendingar litið til aðferða Norðmanna til að meta ástand stöðuvatna á Íslandi (Gerður Stefánsdóttir o.fl., 2021). Norska aðferðin byggir á þremur gæðapáttum, þ.e. vatnsbúskap, samfella og formfræði með viðeigandi matspáttum (Bakken o.fl., 2019; sjá nánar í kafla 3.2). Gæðapættirnir endurspeglar breytingar í vatnsformfræði en eru jafnframt taldir hafa áhrif á ástand lífríkis í vötnum. Aðferðafræðin byggir einnig á því að raunhæft sé að afla nauðsynlegra gagna sem þarf til. Þessi aðferðafræði var löguð að íslenskum aðstæðum. Mörk fyrir mjög gott ástand vatnsformfræðilegra gæðapátta hafa ekki verið skilgreind í Noregi.

2.2.2 Finnland

Aðferðafræði Finna (Turunen & Hellsten, 2022) við mat á vatnsformfræðilegu ástandi stöðuvatna er sambærileg aðferð þeirra við mat á straumvötnum (sjá kafla 2.1.2). Um er að ræða sex þætti sem notaðir eru til að ræða stöðuvötnum með tilliti til álags þar sem náttúrulegt ástand fær 0 stig, en vötn sem hafa orðið fyrir miklum vatnsformfræðilegum breytingum fá 4 stig (tafla 4). Fjöldi stiga fyrir hvert stöðuvatn er lagður saman og endurspeglar útkoman vatnsformfræðilegt ástand (mynd 2). Stöðuvötn sem fá á bilinu frá 0 til 3 stig eru skilgreind í mjög góðu ástandi hvað varðar vatnsformfræðilega gæðapætti, þrátt fyrir að minniháttar breytingar hafi mögulega átt sér stað. Ef hins vegar stigafjöldinn er ≥ 10 er um að ræða mikið breytt vatnshlot skv. skilgreiningu Finna.

Tafla 4. Viðmið sem notuð eru við mat á vatnsformfræðilegum breytingum í finnskum stöðuvötnum. Þýdd tafla úr erindi Turunen & Hellsten (2022).

	Meðallækkun vatnsborðs að vetri ¹⁾ (m)	Meðallækkun vatnsborðs að vetri miðað við dýpi (%) / breytingar á svæðum undir vatni (%) ²⁾	Hækkun/lækkun meðalvatnsborðs (m). Meðaldýpi		Hlutfall breyttra strandsvæða (% af heildar strandlínu)	Áhrif af brúm og varnarmannvirkjum	Hindranir í farvegi ³⁾
			<1,2 m	>1,2 m			
Mjög mikil áhrif (4 stig)	>3,0	>50	>1	>1,5	>50	Sérfræðimat	Far fiska ómögulegt vegna hindrana
Mikil áhrif (3 stig)	>1,5–3	>30–50	>0,5–1	>1–1,5	>20–50	Sérfræðimat	Far fiska nánast ómögulegt vegna hindrana
Nokkur áhrif (2 stig)	>1,0–1,5	>10–30	0,1–0,5	0,5–1	10–20	Sérfræðimat	Að hluta til lokað á far fiska / aðeins sumar tegundir geta komist um
Lítill áhrif (1 stig)	0,5–1,0	1–10	<0,1	<0,5	<10	Sérfræðimat	Far sumra tegunda er ómögulegt
Náttúrulegt (0 stig)	<0,5	<1	0	0	<5	Sérfræðimat	Allir fiskar auk annars vatnalífríkis getur farið óhindrað um vatnshlot

¹⁾ Vatnshæð á tíma þegar ís myndast - lægsta vatnsborð þegar ís þekur vatn. Reiknað meðaltal t.d. frá 1995–2005.

²⁾ Skoða skal báða þættina en einkunn þó aðeins gefin fyrir annan þáttinn.

³⁾ Mögulegt að meta út frá ýmsum rennislisaðstæðum ef þörf krefur. Einnig hægt að taka til greina áhrif sem hindranir hafa á fiska.

2.2.3 Danmörk

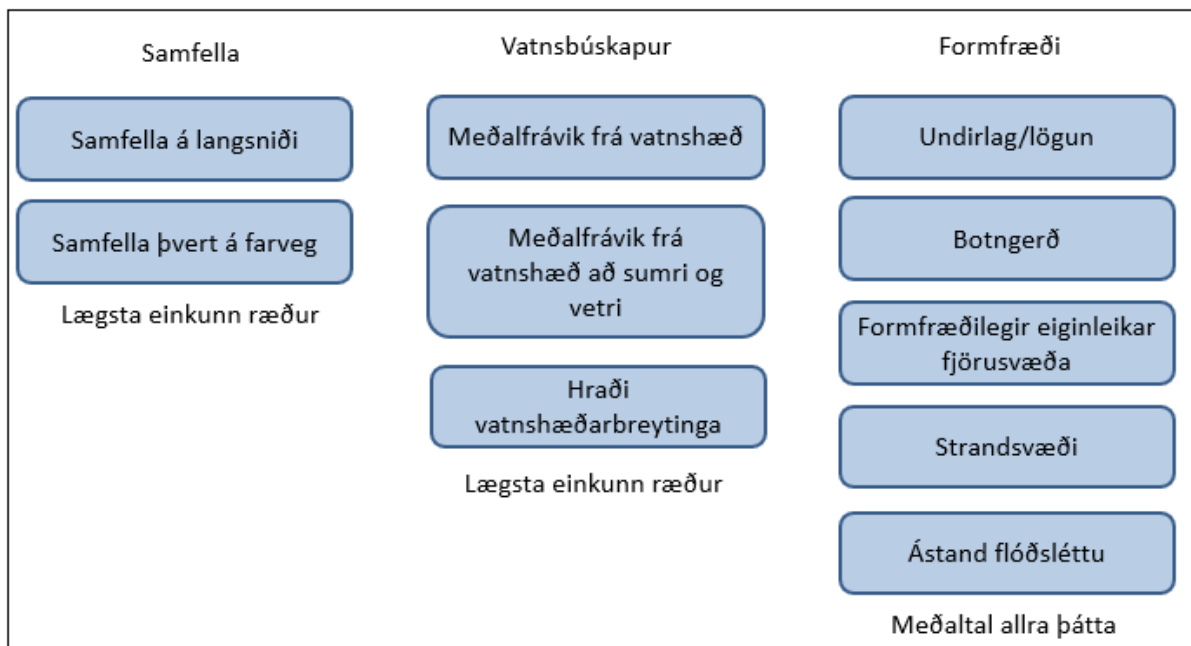
Líkt og aðferð Dana við mat á vatnsformfræðilegum gæðapáttum í straumvötnum var tölfræðileg nálgun einnig notuð til að meta áhrif einstakra vatnsformfræðilegra matsþátta á lífríki stöðuvatna (Søndergaard o.fl., 2019). Um var að ræða sex vatnsformfræðilega þætti sem skoðaðir voru í tengslum við líffræðilega gæðapætti, þ.e. vatnsbúskapur, viðstöðutími, tengsl við grunnvatn, breytingar á vatnshæð, botngerð og tengsl við bakkasvæði. Líffræðilegu þættirnir sem teknir voru til skoðunar voru þörungur, vatnablöntur, hryggleysingjar og fiskar. Metin voru áhrif vatnsformfræðilegra breytinga á ástand líffræðilegra gæðapátta með fylgnireikningum. Notuð voru vatnsformfræðileg og líffræðileg gögn úr vötnum í Evrópu sem voru talin sambærileg vötnum í Danmörku. Samtals voru notuð gögn úr 101 stöðuvatni, þar af voru upplýsingar úr 25 vötnum þar sem vatnshæð var mæld og úr 76 vötnum þar sem vatnshæðarmælingar voru ekki til staðar.

Niðurstaða úttektarinnar var að í flestum tilfellum höfðu vatnsformfræðilegir gæðapættir óveruleg áhrif á líffræðilega gæðapætti sem til skoðunar voru (Søndergaard o.fl., 2019). Mikill breytileiki var á milli vatna sem olli því að erfitt var að skilgreina viðmiðunarástand fyrir hvern og einn gæðapátt sem í framhaldinu gerði mat á breytingum á ástandi vatnshlota flókið. Niðurstaðan var að vatnsformfræðilegir gæðapættir hefðu almennt ekki umtalsverð áhrif á líffræðilega gæðapætti í stöðuvötnum, en þrátt fyrir það höfðu þeir vissulega talsverð áhrif í einstaka vötnum og vatnagerðum.

Danir leggja til að nota sömu aðferð og notuð hefur verið í Svíþjóð fyrir vatnsformfræðilega gæðapætti, í það minnsta þar til frekari upplýsingar liggja fyrir um mögulegar skilgreiningar á ástandsviðmiðum þar í landi (sjá kafla 2.2.4, töflu 5). Skilgreining á mjög góðu ástandi vatnsformfræðilegra gæðapátta í stöðuvötnum hefur ekki farið fram í Danmörku.

2.2.4 Svíþjóð

Sænska aðferðin er í meginatriðum sú sama og hjá Norðmönnum þar sem miðað er við þrjá gæðapætti, þ.e. samfellu, vatnsbúskap og formfræði, og hverjum og einum gæðapætti tilheyra viðeigandi matsþættir (Bakken o.fl., 2019, kafla 6.2). Mynd 3 sýnir gæðapættina og tilheyrandi matsþætti. Þar kemur fram að lægsta einkunn fyrir samfellu og vatnsbúskap er notuð við ástandsflokkun vatnshlota, en hins vegar er meðaleinkunn matsþátta notuð fyrir gæðapáttinn formfræði við ástandsflokkunina. Líkt og í Noregi er nálgun Svía sambærileg að því leyti að hverjum matsþætti er gefin einkunn frá einum upp í fimm eftir því hversu miklar breytingar hafa orðið á viðkomandi matsþætti. Í töflu 5 er dæmi um flokkun á ástandi stöðuvatns út frá breytingum á vatnshæð af mannavöldum. Sama aðferð er notuð til þess að flokka stöðuvatnshlot út frá öðrum matsþáttum. Eins og áður kom fram er þetta mjög sambærilegt við aðferðafræði Norðmanna sem íslenska aðferðafræðin byggir á.



Mynd 3. Gæða- og matsþættir sem notaðir eru í Svíþjóð til að meta ástand stöðuvatna m.t.t. vatnsformfræðilegra gæðapátta. Þýðing á mynd 6.1 í skýrslu Bakken o.fl. (2019).

Tafla 5. Dæmi um nálgun Svía við mat á vatnsformfræðilegum gæðapáttum, í þessu tilfalli út frá breytingum á vatnshæð í stöðuvötnum af mannavöldum. Þýðing á töflu 6.1 í Bakken o.fl. (2019).

Ástand	Einkunn	Vatnshæðarbreytingar
Mjög gott	5	Meðalbreyting á vatnshæð miðað við náttúrulegar aðstæður er < 0,05 m
Gott	4	Meðalbreyting á vatnshæð miðað við náttúrulegar aðstæður er 0,05 – 0,25 m
Ekki viðunandi	3	Meðalbreyting á vatnshæð miðað við náttúrulegar aðstæður er 0,25 – 1,0 m
Slakt	2	Meðalbreyting á vatnshæð miðað við náttúrulegar aðstæður er 1,0 – 3,0 m
Lélegt	1	Meðalbreyting á vatnshæð miðað við náttúrulegar aðstæður er > 3 m

3 Hvað telst vera mjög gott vatnsformfræðilegt ástand á Íslandi?

Tilgangur þessarar skýrslu er að lýsa mjög góðu ástandi vatnsformfræðilegra gæðapátta í straum- og stöðuvötnum á Íslandi. Í töflu 6 er almenn lýsing á mjög góðu vatnsformfræðilegu ástandi sem finna má í III. viðauka reglugerðar nr. 535/2011 um flokkun vatnshlota, eiginleika þeirra, álagsgreiningu og vöktun. Þessi lýsing nægir þó ekki til þess að meta hvort vatnsformfræði vatnshlota endurspegli mjög gott ástand og nauðsynlegt er skilgreina töluleg viðmið sem tekur til gæðapáttanna sem nota á. Í köflunum sem á eftir fara er fjallað um aðferðir sem lagðar eru til við vatnsformfræðilega ástandsflokkun á Íslandi, með sérstakri áherslu á að skilgreina mjög gott vatnsformfræðilegt ástand. Aðferðir við mat á vatnsformfræðilegu ástandi vatnshlota byggja á umfangsmiklum gögnum sem lýsa vatnsformfræði vatnshlotanna og flokkun samkvæmt þeim er því viðamikil í eðli sínu. Þess ber þó að geta að beita má sérfræðiþekkingu við ástandsflokkun vatnshlota þar sem fullnægjandi gögn eru ekki fyrir hendi.

Tafla 6. Lýsing á mjög góðu vatnsformfræðilegu ástandi í straum- og stöðuvötnum samkvæmt reglugerð nr. 535/2011. Umhverfisstofnun hefur samþykkt að nota gæðapætti sem merktir eru með x, að viðbættum gæðapættinum samfella fyrir jökulskotin stöðuvötn.

	Gæðapáttur	Lýsing á mjög góðu ástandi	Samþykkt
Straumvötn	Vatnsbúskapur	Vatnsmagn og straumpungi og tengsl sem af því hljóta við grunnvatn endurspeglar algjörlega eða nánast það sem vænta mætti við óraskaðar aðstæður.	x
	Samfella ár	Samfella árinna raskast ekki af starfsemi manna og far vatnalífvera og flutningur sets eru eðlileg.	x
	Formfræðileg skilyrði	Árfarvegamyndun, breytileiki í dýpt og breidd, straumhraði, aðstæður að því er varðar undirlag og bæði gerð og ástand árbakkasvæða eru algjörlega eða nánast eins og vænta mætti við óraskaðar aðstæður.	
Stöðuvötn	Vatnasvið	Vatnsmagn og straumhraði, vatnshæð, viðstöðutími og tengsl við grunnvatn sem af því hljóta, endurspeglar algjörlega eða nánast það sem vænta mætti við óraskaðar aðstæður.	x
	Formfræðilegar aðstæður	Breytileiki í dýpt stöðuvatns, magn og gerð undirlagsins og bæði gerð og ástand árbakkasvæða eru algjörlega eða nánast eins og vænta mætti við óraskaðar aðstæður.	x ¹
	Samfella	Ekki skilgreint í reglugerð nr. 535/2011	x ²

¹ Formfræðilegar aðstæður eru aðeins notaðar fyrir bergvötn (Gerður Stefánsdóttir o.fl., 2021).

² Samfella er aðeins notuð fyrir jökulvötn (Gerður Stefánsdóttir o.fl., 2021).

Eins og fram kemur í kafla 1 var miðað við að vinna aðeins með tvo vatnsformfræðilega gæðapætti í fyrsta vatnahring (2022–2027). Í mörgum tilvikum nægir það við skilgreiningu á vatnsformfræðilegu ástandi straum- og stöðuvatna, en hins vegar gæti það í einhverjum tilvikum valdið of- eða vanmati á ástandi vatnshlota með tilliti til vatnsformfræði. Fækkun gæða- og matspátta getur einnig valdið því að einstakir þættir hafa óeðlilega mikið vægi við ástandsflokkunina og geta jafnvel valdið því að vatnshlot falli um ástandsflokk án sýnilegrar ástæðu. Í einhverjum tilfellum getur þurft að horfa til fleiri gæða- og matspátta sem við eiga samkvæmt reglugerð nr. 535/2011 við mat á vatnsformfræði straum- og stöðuvatna ef grunur leikur á að flokkunarkerfið sem hér er lagt fram nái ekki utan um ástand einstaka vatnshlots. Það á

sérstaklega við um formfræði jökulskotinna vatna, sem er ekki skilgreindur gæðapáttur fyrir jökulvötn. Það er hins vegar skilgreindur gæðapáttur fyrir tær stöðuvötn (bergvötn) og byggir á mati á flatarmáli stöðuvatns og flatarmáli fjörusvæða sem fer á þurrt við lægstu vatnsstöðu miðað við hæstu vatnsstöðu vegna mannglegra athafna. Vatnshæðarbreytingar á fjörusvæði jökulvatna geta haft verulega neikvæð áhrif á afkomu smádyra sem þar þrífast við náttúrulegar aðstæður og þarf því að taka með í reikninginn þegar meta á áhrif vatnsmiðlunar á vatnsformfræðilegt ástand jökulvatna.

Ástæða þess að samfella var lögð fram sem gæðapáttur fyrir jökulvötn er mikilvægi samfellu fyrir framburð svifaus í jökulvötnum. Verði rof á samfellu ofan við jökulvötn minnkar framburður svifaus til vatnsins með tilheyrandi minnkun hans í vatninu. Rof á samfellu minnkar þannig framburð svifaus, en hins vegar eru mörg tilfelli þar sem tilfærsla á vatni á milli vatnasviða veldur aukningu á svifaur í ám og vötnum. Það á til dæmis við um Þórisvatn og Lagarfljót. Gæðapátturinn samfella, eins og hann er skilgreindur í skýrslu Veðurstofunnar (Gerður Stefánsdóttir o.fl., 2021), nær ekki yfir þess háttar breytingar.

3.1 Mat á vatnsformfræði straumvatna á Íslandi

Við fyrsta mat á manngerðum og mikið breyttum vatnshlotum á Íslandi var notað flokkunarkerfi fyrir vatnsformfræði til að draga fram vatnshlot á virkjanasvæðum sem hafa orðið fyrir umtalsverðum breytingum á vatnsformfræði (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020). Það kerfi var byggt á aðferð Norðmanna (Harby o.fl., 2018). Hér er lagt fram flokkunarkerfi sem er sambærilegt við norsku aðferðina, en hefur verið aðlagð að gæðapáttum sem samþykktir hafa verið fyrir straumvötn á Íslandi (Gerður Stefánsdóttir o.fl., 2021), auk þess sem tekið er tillit til breytinga sem Norðmenn hafa gert á sínu matskerfi (Harby o.fl., 2020).

Flokkunin er byggð á greiningu á álagi af mannavöldum og ef ekkert álag er til staðar má gera ráð fyrir að vatnsformfræði viðkomandi vatnshlots sé náttúruleg og vatnshlotið þar með í mjög góðu ástandi hvað varðar vatnsformfræðilega gæðapætti. Í þeim tilvikum þar sem vatnshlot hefur orðið fyrir breytingum af mannavöldum er nauðsynlegt að leggja mat á breytingarnar og hve miklar þær eru. Það er gert með því að meta breytingar miðað við náttúrulegt ástand og gefa hverjum þætti einkunn miðað við umfang breytinganna. Lýsing á einkunnagjöf fyrir einstaka matsþætti er í töflu 7 og aðferðir við mat á hverjum þætti er að finna í viðauka I. Lagt er til að meta vatnsformfræðilega gæðapætti í straumvötnum með því að taka meðaltal einkunna fyrir hvern lið (A, B, C og E) og meðaleinkunn fyrir vatnsbúskap (D) samkvæmt eftirfarandi jöfnum:

$$\text{Vatnsformfræði jökuláa} = ((A+B+C+E)/4 + D1)*1/2 \quad \text{Jafna 1}$$

$$\text{Vatnsformfræði bergvatnsáa} = ((A+B+C)/3 + D1)*1/2 \quad \text{Jafna 2}$$

Í jöfnum 1 og 2 tákna A breytingar á vatnsformfræði sem verða meðfram árfarvegi, B tákna breytingar þvert á farveg, C tákna breytingar í ánni, D tákna breytingar á vatnsbúskap og E tákna breytingar á svifaur. Útkoman úr reikningum samkvæmt jöfnum 1 og 2 gefur til kynna vatnsformfræðilegt ástand straumvatns út frá sameinuðum einkunnum fyrir alla gæðapættina. Bent er á að aðferðin getur ofmetið ástand vatnshlota sem hafa orðið fyrir miklum áhrifum af einum matsþætti en ekki af öðrum. Í þeim tilvikum væri rétt að horfa einungis til matsþáttarins sem fær lökustu útkomuna ef sá þáttur hefur afgerandi áhrif á lífríki vatnshlotanna samkvæmt sérfræðimati og móta vinnureglur út frá því. Dæmi um það er vatnsformfræði farvegar sem er þurr vegna

veitingu vatns á milli vatnasviða. Breytingar á þeim farvegi eru mestar á vatnsbúskap, en gætu haft lítil eða engin áhrif á aðra vatnsformfræðilega gæðapætti (formfræði og samfellu). Við mat á vatnsformfræðilegu ástandi þess farvegar væri best að nota aðeins útkomu á matsþátta sem fá lægstu einkunn (vatnsbúskap) í stað þess að sameina útkomu úr öllum gæðapáttunum.

Reiknuð er út ein lokaeinkunn fyrir hvert vatnshlot eða hóp af vatnshlotum. Einkunnakvarðinn sem notaður er við útreikningana nær frá 5 (besta einkunn) niður í 1 (lakasta einkunn) og endurspeglar hann alla fimm ástandsflokkana sem notaðir eru við vistfræðilega ástandsflokkun samkvæmt lögum um stjórn vatnamála. Í kafla 3.3 er fjallað nánar um tillögu að skilgreiningu á mjög góðu vatnsformfræðilegu ástandi í straum- og stöðuvötnum.

Tafla 7. Flokkunarviðmið til að meta vatnsformfræðilegar breytingar í straumvötnum út frá vatnsformfræðilegum gæðapáttum. Aðferðafræðin er byggð á nálgun Harby o.fl. (2018; 2020).

Gæðapáttur	Áhrifapáttur	Matsþáttur	Mælikvarði á breytingar	Mörk flokka				
				Náttúrulegt	Lítill áhrif	Nokkur áhrif	Mikil áhrif	Mjög mikil áhrif
Einkunnagjöf				5	4	3	2	1
Samfella ár	A	Varnargarðar	Hversu stór hluti árinna? (%)	<10	10–30	30–65	65–80	>80
	B	Stíflur í farvegi	Barriereffect (Sandlund o.fl., 2013)	<0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–0,8	>0,8
		Uppskipting farvegar	Fragmenteringsgrad (Sandlund o.fl., 2013)	<0,5	0,5–0,65	0,65–0,8	0,8–0,83	>0,83
		Lónaáhrif	Hlutfall farvegar ofan stíflu undir áhrifum af stíflu	<10	10–30	30–50	50–80	>80
		Uppistöðuáhrif	Fjarlægð að fyrstu hindrun (km)	Engin hindrun	>50 km	10–50 km	2–10 km	<2 km
	C	Mannvirki önnur en stíflur *	Hversu stór hluti árinna er undir áhrifum? (%)	<5	5–33	33–50	50–80	>80
E	Svifausbreytingar **	Hlutfallsleg minnkun svifaus	<10	10–25	25–50	50–80	>80	
Vatnsbúskapur/Rennishættir		Heildarrennsli	Breyting á heildarrennsli (%)	<15	15–30	30–50	50–95	>95
	D1	Lágrennsli sumar	7 daga lágrennsli jún–sept (miðað við óbreytt) (%)	<10	10–20	20–40	40–60	>60
		Lágrennsli vetur	7 daga lágrennsli nóv–mars (miðað við óbreytt) (%)	<5	5–10	10–30	30–50	>50
		Tíðni 1 árs flóða	Breyting á endurkomuhlutfalli	engin breyting		5–10 ár	sjaldnar en á 10 ára fresti	
		Tíðni 10 ára flóða	Breyting á endurkomuhlutfalli	ekki sjaldnar en á 15 ára fresti		15–30 ár	sjaldnar en á 30 ára fresti	
	D2	Skammtíma rennslibreytingar (peaking) *	Hlutföll á milli há- og lágrennslis	<1,5	1,5–3	3–5	5–10	>10
		Hraði rennslibreytinga *	Lækkunarhraði (cm/klst.)	<5	5–13	13–20	20–30	>30

* Á aðeins við um bergvatnsár. ** Á aðeins við um jökulár.

3.2 Mat á vatnsformfræði stöðuvatna á Íslandi

Flokkunarkerfi fyrir vatnsformfræði stöðuvatna á Íslandi hefur ekki verið fullunnið, en þó hafa verið lagðir til matsþættir sem hægt væri að nota við matið (Gerður Stefánsdóttir o.fl., 2021). Aðferðin er byggð á flokkunarkerfi sem Norðmenn hafa lagt til (Bakken o.fl., 2018; 2019), en töluleg mörk sem Norðmenn hafa sett (sjá töflu 7.3 í skýrslu Bakken o.fl., 2019) hafa ekki verið prófuð áður við mat á íslenskum stöðuvötnum. Líkt og fyrir straumvötn byggir flokkunin á greiningu á álagi af mannavöldum á vatnsformfræði vatnshlota. Ef ekkert álag er til staðar má gera ráð fyrir að vatnsformfræði viðkomandi vatnshlots sé náttúrulegt og þar með í mjög góðu ástandi hvað varðar vatnsformfræðilega gæðapætti. Í þeim tilvikum þar sem vatnshlot hefur orðið fyrir breytingum af mannavöldum er nauðsynlegt að leggja mat á breytingarnar miðað við náttúrulegt ástand og meta hve miklar þær eru.

Í töflu 8 eru sett fram viðmið til að nota við vatnsformfræðilega flokkun á stöðuvötnum á Íslandi. Aðferðir sem notaðar eru við útreikning á matsþáttunum eru í viðauka II. Gæðapættirnir vatnsbúskapur og formfræði eru notaðir til að meta vatnsformfræðilegt ástand bergvatna á Íslandi (tær stöðuvötn), en vatnsbúskapur og samfella eru notuð við mat á jökulskotnum vötnum/lónum (Gerður Stefánsdóttir o.fl., 2021). Samkvæmt flokkunarkerfinu eru sex matsþættir fyrir vatnsbúskap, tveir fyrir formfræði og einn fyrir samfellu. Þeir voru valdir úr matsþáttum sem settir eru fram í skýrslu Bakken og féлага (2019) og með tilliti til breytinga sem búast mætti við að eigi við á Íslandi, auk aðgengis að gögnum um íslensk vötn/lón. Í skýrslu Bakken o.fl. var hverjum matsþætti gefið vægi og voru þeir matsþættir sem höfðu mesta vægi notaðir til flokkunar á vatnsformfræði vatnshlota á Íslandi. Því þótti ekki ástæða til að meta einkunnir einstakra matsþátta í töflu 8 sérstaklega út frá vægi þeirra.

Tafla 8. Flokkunarviðmið til að meta vatnsformfræðilegar breytingar í stöðuvötnum út frá vatnsformfræðilegum gæðapáttum. Aðferðafræðin er byggð á nálgun Bakken o.fl. (2019).

Gæðapáttur	Matspáttur	Mælikvarði	Mörk flokka				
			Mjög gott ástand	Gott ástand	Ekki viðunandi ástand	Slakt ástand	Lélegt ástand
	Einkunn		5	4	3	2	1
Vatnsbúskapur	Árlegt innrennsli	Breyting á árlegu innrennsli miðað við óraskaðar aðstæður (%)	<5	5–20	20–50	50–90	>90
	Breytingar á vatnsstöðu	Munur á hæstu og lægstu stýrðu vatnsstöðu (HRWL - LRWL) (m)	<2	2–3	3–10	10–50	>50
	Heildar rúmmálsbreytingar	Hlutfallsleg breyting á rúmmáli vatns borið saman við náttúrulegar aðstæður (%)	<5	5–10	10–30	30–70	>70
	Viðstöðutími ¹	Hlutfallsleg breyting á viðstöðutíma vatns miðað við náttúrulegar aðstæður (%)	<5	5–20	20–50	50–100	>100
	Vatnsstöðubreytingar við hæstu vatnsstöðu	Hlutfallsleg breyting á hæstu vatnsstöðu gefin sem mismunur milli náttúrulegrar vatnsstöðu og raunverulegrar vatnsstöðu á viðkomandi degi (%)	<5	5–10	10–30	30–70	>70
	Vatnsstöðubreytingar við lægstu vatnsstöðu	Hlutfallsleg breyting lægstu vatnsstöðu gefin sem mismunur milli náttúrulegrar vatnsstöðu og raunverulegrar vatnsstöðu á viðkomandi viku (%)	<5	5–10	10–30	30–70	>70
Formfræði ²	Flatarmál sem fer á þurrt	Flatarmál sem fer á þurrt miðað við lægstu og hæstu stöðu, mælt lárétt (%)	<5	5–10	10–40	40–90	>90
	Fjörusvæði sem fara á þurrt (littoral zone)	Hlutfall fjörusvæðis sem verður fyrir áhrifum að vatnsstöðu/rennslistjórnum. Lárétt mæling (%)	<5	5–10	10–40	40–90	>90
Samfella ³	Hindranir ofan til á vatnasviði sem hindra setferla	Hlutfall svæða ofar í vatnasviði sem lokast vegna manngerðra hindrana miðað við aðstæður án inngripa (encroachment) (%)	<5	5–10	10–50	50–90	>90

¹⁾ Matspátturinn viðstöðutími á aðeins við um bergvötn

²⁾ Gæðapátturinn formfræði á aðeins við um bergvötn

³⁾ Gæðapátturinn samfella á aðeins við um jökulvötn

Í skýrslu Bakken og félagar (2019) kemur fram að mikilvægt sé að meta hvern gæðapátt fyrir sig með vegnu meðaltali á viðeigandi matspáttum í stað þess að taka meðaltal niðurstaðna fyrir alla gæðapættina. Við það verða til einkunnir sem eru jafnmargar gæðapáttunum sem notaðir voru við flokkunina. Á Íslandi er miðað við að nota tvo gæðapætti við mat á vatnsformfræði og því yrðu tvær einkunnir fyrir vatnsformfræði íslenskra vatnshlota. Hins vegar verður að sameina einkunnirnar til að fá endanlega niðurstöðu fyrir flokkun vatnshlota út frá gæðapættinum vatnsformfræði. Það er hægt að gera á marga mismunandi vegu og Bakken og félagar (2019) fjalla um þrjár aðferðir:

1. Allir gæðapættirnir hafa sama vægi og tekið er meðaltal af þeim (allir þrjú gæðapættirnir gilda 1/3 af lokaeinkunn).
2. Einkunn fyrir vatnsbúskap gildir 50%, formfræði gildir 25% og samfella 25%.

3. Lakasti gæðapátturinn er látinn ráða ástandsflokkuninni (e. *one out all out*). Þessi aðferð er næm fyrir mismunandi fjölda matsþátta sem notaðir eru fyrir hvern gæðapátt, auk þess sem áreiðanleiki gagna fyrir hvern matsþátt er mismikill. Það getur valdið því að vatnshlot falli vegna þess að einn matsþáttur fær lága einkunn. Áreiðanleiki ástandsflokkunar vatnshlota sem byggir á mati á einum matsþætti er ekki mikill, sérstaklega ef matið byggir á ófullnægjandi eða óáreiðanlegum gögnum. Mælt er með því að þessi aðferð sé aðeins notuð fyrir gæðapætti sem byggja á nokkrum matsþáttum, en ekki þeim sem byggja einungis á einum matsþætti.

Lagt er til að loka-einkunn fyrir vatnsformfræðilega gæðapætti í stöðuvötnum á Íslandi verði reiknuð með því að nota aðferð nr. 2 hér að ofan ef miða á við þrjá vatnsformfræðilega gæðapætti, þ.e. að vatnsbúskapur verði látinn gilda 50% og formfræði og samfella lätin gilda 25% hvor um sig. Ef meta á vatnsformfræði stöðuvatna út frá tveimur gæðapáttum er lagt til að aðferðin verði löguð að því og gæðapátturinn vatnsbúskapur látinn gilda 75% og annað hvort formfræði eða samfella lätin gilda 25%, eftir því hvort verið er að meta bergvötn eða jökulvötn. Þetta er lagt til í ljósi þess að matsþættirnir sem lýsa vatnsbúskap eru mun fleiri en matsþættir annarra gæðapátta. Nálgunin er háð áreiðanleika fyrirliggjandi gagna og endurskoðast í ljósi reynslu af aðferðafræðinni.

Við mat á vatnsformfræði skal reikna meðaleinkunn fyrir sérhvern gæðapátt sem síðan er notuð til að reikna heildareinkunn fyrir hvert vatnshlot. Heildareinkunn fyrir vatnsformfræði stöðuvatna er reiknuð samkvæmt jöfnu 3 ef meta á vatnsformfræði út frá þremur gæðapáttum, en samkvæmt jöfnu 4 ef nota á tvo gæðapætti.

$$\text{Vatnsformfræði stöðuvatna (þrjú gæðapættir)} = A * 0,5 + B * 0,25 + C * 0,25 \quad \text{Jafna 3}$$






$$\text{Vatnsformfræði stöðuvatna (tveir gæðapættir)} = A * 0,75 + B \text{ eða } C * 0,25 \quad \text{Jafna 4}$$

Í jöfnum 3 og 4 er A meðaleinkunn matsþátta fyrir vatnsbúskap, B er meðaleinkunn fyrir formfræði og C er meðaleinkunn fyrir samfellu. Nota skal samþykka gæða- og matsþætti við matið (tafla 2). Vatnsbúskapur (A) er notaður fyrir öll vötn og nota skal formfræði (B) fyrir bergvötn en samfellu (C) fyrir jökulvötn. Nota skal sameinaða einkunn allra gæðapátta fyrir hvert vatnshlot við ástandsflokkunina. Einkunnakvarðinn sem notaður er við útreikningana nær frá 5 (besta einkunn) niður í 1 (lakasta einkunn) og endurspeglar hann alla fimm ástandsflokkana sem notaðir eru við vistfræðilega ástandsflokkun samkvæmt lögum um stjórn vatnamála. Í kafla 3.3 er fjallað nánar um tillögu að skilgreiningu á mjög góðu vatnsformfræðilegu ástandi í straum- og stöðuvötnum út frá einkunnakvarðanum sem hér er notaður.

3.3 Skilgreining á mjög góðu ástandi straum- og stöðuvatna

Einkunnakerfið sem lagt er til að nota við mat á vatnsformfræðilegu ástandi staum- og stöðuvatna hér á landi nær frá 5 (besta ástand) niður í 1 (lakasta ástand). Einkunnir fyrir hvert vatnshlot eru reiknaðar með jöfnum 1–4 og flokkunarviðmið eru gefin upp í töflum 7 og 8. Flokkunarkerfið sem notað er við mat á vistfræðilegu ástandi vatnshlota skiptist í fimm ástandsflokkar og þarf einkunnakvarðinn því að ná yfir þá alla. Það er hægt að gera á marga mismunandi vegu, en hér er lagt til að skipta einkunnakvarðanum í fimm jafna flokka sem hver um sig endurspeglar einn ástandsflokk. Flokkunarkerfið er sett fram í töflu 9. Samkvæmt því er hver ástandsflokkur 20% af einkunnakvarðanum og er mjög gott ástand vatnsformfræðilegra gæðapátta frá 5,00 til 4,21. Tekið er fram að þessi tillaga byggir á takmörkuðum upplýsingum, en þó hefur prófun verið gerð á nokkrum vatnshlotum (sjá kafla 4). Við prófunina var heildareinkunn fyrir vatnsformfræðilega gæðapætti notuð við ástandsflokkunina (jöfnur 1, 2 og 4), en tekið er fram að hægt er að nota niðurstöður fyrir þann gæðapátt sem fær lökustu útkomuna, ef matið er stutt áreiðanlegum gögnum og ef sá þáttur hefur afgerandi áhrif á lífríki vatnshlotanna samkvæmt sérfræðimati.

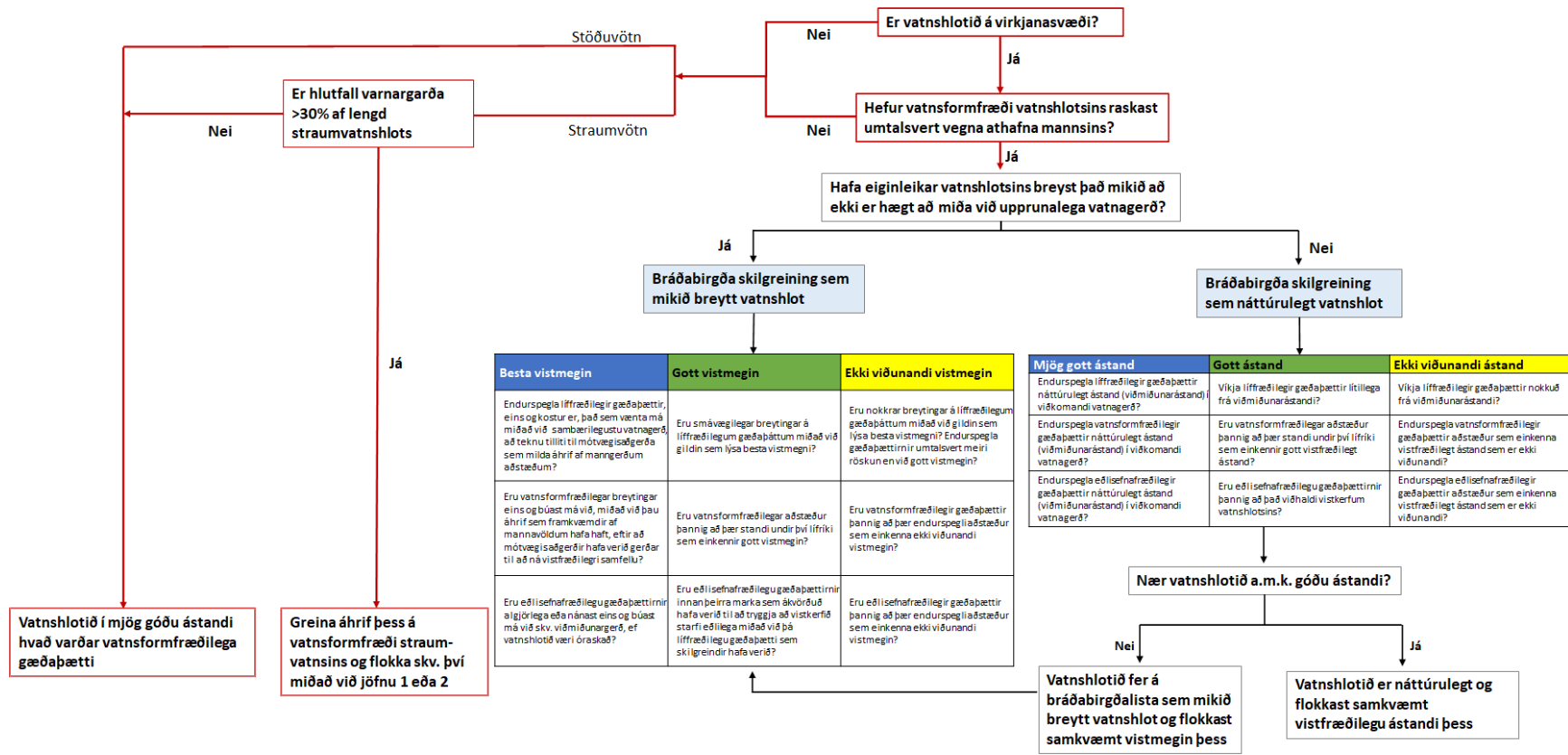
Tafla 9. Tillaga að skilgreiningu á mjög góðu vatnsformfræðilegu ástandi straum- og stöðuvatna á Íslandi. Hver flokkur nær yfir 20% einkunnakvarðans sem notaður er til að lýsa vatnsformfræðinni.

Litakvarði ástandsmats	Einkunn	Ástand
	5,00 – 4,21	Mjög gott ástand
	4,20 – 3,41	Gott ástand
	3,40 – 2,61	Ekki viðunandi ástand
	2,60 – 1,81	Slakt ástand
	1,80 – 1,00	Lélegt ástand

3.4 Skimun á vatnsformfræði straum- og stöðuvatna

Eins og fram hefur komið er flokkun á vatnsformfræðilegu ástandi byggð á greiningu á álagi af mannavöldum sem hefur áhrif á vatnsformfræði vatnshlota. Ef ekkert álag er til staðar má gera ráð fyrir að vatnsformfræði viðkomandi vatnshlots sé náttúruleg og endurspegli þar með mjög gott vatnsformfræðilegt ástand. Í skýrslu Bakken og féлага (2019) kemur fram að aðferðin við mat á vatnsformfræðilegu ástandi stöðuvatna sé mjög umfangsmikil, tímafrek og krefjist þess að til séu gögn um marga mismunandi matsþætti. Það sama á við um mat á vatnsformfræði straumvatna. Bakken og félagar (2019) leggja til að fram fari skimun á stöðuvötnunum áður en farið er í fulla greiningu á öllum matsþáttum, til að meta hvort þau séu undir vatnsformfræðilegu álagi. Þetta á einnig við um mat á vatnsformfræði straum- og stöðuvatna á Íslandi. Talið er að hægt sé að nota skimun til að meta hvort vatnshlot á Íslandi séu náttúruleg eða mikið breytt af mannavöldum. Þar með fækkar verulega þeim vötnum sem krefjast ítarlegs mats á vatnsformfræðilegu ástandi. Ítarlegt mat á öllum vatnshlotum á Íslandi yrði gríðarmikil vinna og í raun ekki gerleg þar sem upplýsingar um matsþætti eru fátæklegar miðað við fjölda vatnshlota hér á landi. Hér er gerð tillaga að aðferð við skimun á vatnsformfræðilegu ástandi straum- og stöðuvatna á Íslandi (mynd 4). Aðferðin byggir á áður framlagðri aðferð við skimun fyrir vatnsformfræðilegum breytingum vatnshlota sem eru á áhrifasvæðum stórra virkjana á Íslandi (>10 MW) (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2022).

Algengasta álag á vatnsformfræði vatnshlota á Íslandi er af völdum vatnsaflsvirkjana. Þegar búið er að flokka frá vatnshlot sem hafa orðið fyrir umtalsverðum breytingum á vatnsformfræði vegna virkjanaframkvæmda (já við fyrstu tveimur spurningunum í flæðiritinu á mynd 4) standa eftir vatnshlot sem hafa orðið fyrir litlum eða engum breytingum á vatnsformfræði miðað við þá matsþætti sem notaðir eru hér á landi (töflur 7 og 8). Miðað við aðferðafræðina sem liggur til grundvallar mati á vatnsformfræði straumvatna (tafla 7) er hlutfallsleg lengd varnargarða miðað við lengd viðkomandi árfarvegar sá matsþáttur sem helst getur komið í veg fyrir að vatnshlot sé í mjög góðu vatnsformfræðilegu ástandi utan virkjanasvæða. Aðrir matsþættir fyrir vatnsformfræðilega gæðapætti straum- og stöðuvatna eru í beinum tengslum við stíflumannvirki og vatnsmiðlun á vatnasviðum sem búast má við að frekar sé að finna á virkjanasvæðum á Íslandi en utan þeirra. Samkvæmt flæðiritinu á mynd 4 teljast vatnshlot vera í mjög góðu vatnsformfræðilegu ástandi ef þau hafa ekki orðið fyrir umtalsverðum vatnsformfræðilegum áhrifum á virkjanasvæðum og minna en 30% af lengd þeirra er undir áhrifum af varnargörðum (gildir um straumvötn).



Mynd 4. Tillaga að skimunarferli við mat á vatnsformfræðilegu ástandi straum- og stöðuvatna á Íslandi. Viðbót við skimunarferli sem lagt var til að nota við bráðabirgðaflokkun á mikið breyttum vatnshlotum (Eyðís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2022). Viðbótin er einkennnd með þykki og örvum og boxum í rauðum lit.

4 Prófun á aðferðafræði

4.1 Straumvötn – prófun á aðferðafræði

Aðferðafræðin við mat á vatnsformfræði straumvatna sem fjallað er um í kafla 3.1 var prófuð á nokkrum völdum vatnshlotum sem eru ýmist undir áhrifum af breytingum á formfræði eða vatnsbúskap eða hvorutveggja. Þegar hefur vatnsformfræði nokkurra valinna vatnshlota verið metin í skýrslu um manngerð og mikið breytt vatnshlot (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020). Síðan þá hefur Umhverfisstofnun samþykkt að nota gæða- og matsþætti sem settir voru fram í skýrslu Veðurstofu Íslands (Gerður Stefánsdóttir o.fl. 2021). Þar voru settir fram færri þættir en upphaflega voru notaðar við mat á vatnsformfræði ferskvatnshlota. Tilgangur þess að endurmeta vatnsformfræði vatnshlotanna í töflu 10 núna var að greina hvaða áhrif það hefði að taka út nokkra af þeim matsþáttum sem upphaflega voru notaðir við mat á vatnsformfræði vatnshlota í skýrslu Umhverfisstofnunar (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl. 2020).

Niðurstöður mats á vatnsformfræðilegum gæðaþáttum straumvatnanna er í töflu 10. Þar eru gefnar upp niðurstöður fyrir mat á mismunandi þáttum (A–E) auk heildareinkunnar sem reiknuð er samkvæmt jöfnu 1 (jökulár) eða jöfnu 2 (bergvatnsár).

Jafna 2 sem notuð er til að meta vatnsformfræði bergvatnsáa er sú sama og notuð er í norsku aðferðinni (Harby o.fl., 2018; 2020), en sú sem gefin er upp fyrir jökulár (jafna 1) er breytt útgáfa af norsku jöfnunni þar sem mati á svifausbreytingum af mannavöldum hefur verið bætt við í jöfnu 1 (E). Sambærileg nálgun var gerð í skýrslu um fyrstu skref við mat á manngerðum og mikið breyttum vatnshlotum (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020), en í jöfnu 1 hefur liður E (svifausbreytingar) ekki jafn mikið vægi og í fyrri skýrslu. Þess ber að geta að einkunn fyrir vatnsformfræðilegar breytingar bergvatnsáa í fyrri skýrslu um manngerð og mikið breytt vatnshlot var einungis metin út frá breytingum á gæðaþættinum vatnsbúskap, í ljósi þess að sá þáttur fékk lökustu útkomuna. Það var gert þar eð virkjanafuramkvæmdirnar höfðu mest áhrif á rennsli ána og var jafnvel stór hluti farvega að miklu leyti þurrir neðan við stíflur (lakasta útkoma ræður, e. *one out all out*). Bent er á að mikilvægt er að nota viðeigandi gæða- og matsþætti til að meta áhrif manlegra framkvæmda á vatnshlot sem geta m.a. haft það mikil áhrif á vatnsbúskap að farvegir þurrkast upp. Sérfræðimat er og verður því alltaf mikilvægt þegar meta á vatnsformfræðilegar breytingar vatnshlota.

Matsþáttum í liðum A og C í jöfnum 1 og 2 hefur fækkað miðað við aðferðina sem notuð var við mat á vatnsformfræði staumvatna sem eru undir áhrifum af stórum virkjunum (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020) og það getur haft áhrif á heildareinkunn, yfirleitt til hækkunar. Meðaleinkunn fyrir hvern lið (A–C) er því ekki sú sama og gefin var upp í fyrri skýrslu. Heildareinkunnin sem gefin er upp í töflu 10 er heldur ekki sú sama, bæði vegna breytinga á matsþáttum og breyttrar aðferðar við útreikning einkunnar fyrir jökulár (jafna 1).

Samkvæmt viðmiðum sem hér eru kynnt eru vatnshlot talin vera í mjög góðu ástandi með tilliti til vatnsformfræðilegra gæðaþátta ef þau fá einkunn á bilinu 5,0–4,21 (tafla 9). Vatnshlotin sem fá einkunn á því bili eru merkt með bláum lit í töflu 10. Það eru vatnshlotin Þjórsá 1 og 4, Jökulsá í Fljótsdal 4, Holtsá, Eyjafjarðará og Tungufljót í Biskupstungum. Önnur vatnshlot sem prófuð voru fá lægri einkunn en 4,21 enda hafa þau orðið fyrir meiri breytingum af mannavöldum. Þar á meðal var Jökulsá í Fljótsdal 1 sem fær lága einkunn vegna stíflugerðar ofar á vatnasviðinu og tilfærslu

vatns af vatnasviði Jökulsár á Dal um aðveitugöng til Fljótsdalsvirkjunar yfir í Jökulsá í Fljótsdal 1. Það hefur áhrif á vatnsbúskap árinna og framburð svifauers. Markarfljót er annað vatnshlot sem telst ekki ná mjög góðu ástandi hvað varðar vatnsformfræðilega gæðapætti. Farvegur þess er rammaður inn af flóðvarnargörðum og fær vatnshlotið þar af leiðandi lægstu einkunn í lið A og heildareinkunnin gefur til kynna að vatnshlotið nái ekki mjög góðu ástandi hvað varðar vatnsformfræðilega gæðapætti. Holtsá er annað vatnshlot sem er mjög aðþrengt af varnargörðum eftir að áin fellur niður á láglendi og fær einkunnina 2 í lið A, en er mjög nálægt því að fá lökustu einkunnina fyrir þann lið sem flokkunarkerfið býður upp á (tafla 7). Ekki væri óeðlilegt að skipta Holtsá upp í tvö vatnshlot til að einangra þann hluta farvegarins sem er undir mestum áhrifum af varnargörðum. Aðaláhrifavaldur á vatnsformfræði Eyjafjarðarár eru einnig varnargarðar. Þeir eru þó hlutfallslega stuttir miðað við heildarlengd vatnshlotsins og því fær Eyjafjarðará háa einkunn fyrir vatnsformfræði.

Tafla 10. Prófun á aðferðafræði við mat á vatnsformfræði nokkurra straumvatnshlota með aðferð sem kynnt er í kafla 3.1. Gefnar eru upp einkunnir fyrir hvern flokk matsþátta (A–E) auk heildareinkunnar sem reiknuð er með jöfnu 1 fyrir jökulár og jöfnu 2 fyrir bergvatnsár. Litakvarði og einkunnir ástandsmats eru settar fram í töflu 9. Uppskiptingu vatnshlota má sjá í Vatnavefsjá (<https://vatnavefsja.vedur.is/>).

Vatnshlot	Vatnshlotanr.	Einkunn					Heildar-einkunn	Litakvarði ástandsmats
		A. Langsnið	B. Þversnið	C. Í farvegi	D1. Rennslis-hættir	E. Svifaur		
Þjórsá 1	103-663-R	5,0	4,25	4,0	4,8	2,0	4,31	
Þjórsá 2	103-777-R	5,0	3,5	2,0	1,4	2,0	2,26	
Þjórsá 3	103-902-R	5,0	3,5	5,0	3,8	4,0	4,09	
Þjórsá 4	103-950-R	5,0	4,75	5,0	4,0	4,0	4,34	
Jökulsá í Fljótsdal 1	102-1176-R	4,0	4,25	4,0	2,2	3,0	3,01	
Jökulsá í Fljótsdal 2	102-1200-R	5,0	4,25	5,0	3,4	2,0	3,73	
Jökulsá í Fljótsdal 3	102-1248-R	5,0	3,5	5,0	3,4	2,0	3,64	
Jökulsá í Fljótsdal 4	102-1167-R	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,00	
Blanda 1	101-1674-R	5,0	4,0	4,0	2,8	1,0	3,28	
Holtsá	103-657-R	2,0	5,0	4,0	4,6	5,0	4,30	
Eyjafjarðará	102-1649-R	4,0	4,5	5,0	5,0	*	4,75	
Markarfljót	103-981-R	1,0	5,0	4,0	4,6	5,0	4,18	
Tungufljót í Biskupstungum	103-833-R	5,0	4,0	5,0	5,0	*	4,83	

*Svifaur er matsþáttur fyrir vatnsformfræði jökuláa en ekki bergvatnsáa.

Eftir að niðurstöður prófana á aðferðafræði við mat á vatnsformfræði straumvatna lágu fyrir (Tafla 10) vöknudu efasemdir um að aðferðin næði nægilega vel yfir breytingar á formfræði jökuláa, t.d. vegna rennslisjöfnunar og svifaursminnkunar neðan við miðlunarlón. Eins og fram kemur í inngangi var unnið með tvo gæðapætti fyrir vatnsformfræði straumvatna, *vatnsbúskap* og *samfellu*, en gæðapættinum *formfræði* var sleppt í samræmi við áherslur Umhverfisstofnunar (Gerður Stefánsdóttir o.fl. 2021). Þar af leiðandi er formfræði jökuláa ekki metin í því kerfi sem hér er lagt fram og því nemur kerfið ekki breytingar sem oft verða í farvegum jökuláa þar sem rennsli er miðlað, t.d. vegna vatnsaflsvirkjana. Þetta má meðal annars sjá í flokkun Þjórsár 1 sem fær einkunnina 4,31 (tafla 10) og flokkast því í mjög góðu ástandi með tilliti til vatnsformfræði. Til samanburðar fær Blanda 1 einkunnina 3,28 og flokkast vatnshlotið því í ekki viðunandi ástandi m.t.t. vatnsformfræði, en Blanda er virkjað vatnshlot líkt og Þjórsá. Breytingar á vatnsformfræði Þjórsár 1 vegna virkjana eru hlutfallslega minni en í Blöndu 1 þrátt fyrir að mun fleiri virkjanir og lón séu á vatnasviði Þjórsár en á vatnasviði Blöndu. Það er vegna þess að miðlunaráhrif á vatnasviði Blöndu eru hlutfallslega mun meiri en á vatnasviði Þjórsár. Vatnsmiðlun á vatnasviði Blöndu hefur mikil áhrif á rennsli árinna, sérstaklega hvað varðar tíðni eins árs og 10 ára flóða og það sama má segja um hlutfallslega breytingu á magni svifaurs. Blanda fer sjaldan eða aldrei á yfirfall á meðan Þjórsá fer að hluta til á yfirfall snemma sumars þar sem mörg lón á vatnasviði Þjórsár eru meira eða minna full allt árið. Tíðni eins árs og 10 ára flóða hefur breyst minna í Þjórsá 1 en í Blöndu 1 og svifaur hefur minnkað hlutfallslega minna í Þjórsá en í Blöndu. Þetta skýrir þann mun sem er á flokkun þessara tveggja miðluðu jökuláa með tilliti til vatnsformfræði (Tafla 10).

Til þess að ná betur utan um mögulegar breytingar sem verða á vatnsformfræði vegna virkjana á vatnasviðum jökuláa þarf að bæta við matsþætti fyrir formfræði. Beinast liggur við að nota matsþáttinn *niðurgroftur árinna* sem er hluti af norska matskerfinu (vertikal graving, innskjæring, Harby o.fl., 2018; 2020) og notaður var í fyrsta mati á breytingum á vatnsformfræði vegna vatnsaflsvirkjana (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020). Væri matsþættinum bætt við flokkunarkerfið myndi Þjórsá 1 fá heildareinkunnina 4,18 í stað 4,31 og flokkast í góðu vatnsformfræðilegu ástandi. Blanda 1 myndi fá einkunnina 3,15 í stað 3,28 og myndi eftir sem áður flokkast í ekki viðunandi ástand m.t.t. vatnsformfræði.

Einnig má benda á að í ákveðnum tilvikum væri nauðsynlegt að nota matsþætti fyrir gæði búsvæða ferskvatnslífvera sem eru hluti af flokkunarkerfi Norðmanna (Harby o.fl., 2018; 2020), en ekki er fjallað um í þessari skýrslu. Það á til dæmis við ef bæta á hrygningar- og uppeldisskilyrði laxfiska í ám, en slíkar framkvæmdir eru oft gerðar í farvegum áa sem mótvægi við afleiðingar af skerðingu búsvæða á öðrum hlutum farvega. Dæmi um slíka matsþætti eru *straumvatnsflokkar* og *botngerð* (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020, bls. 23–24).

4.2 Stöðuvötn – prófun á aðferðafræði

Aðferðafræði við mat á vatnsformfræði stöðuvatna sem lýst er í kafla 3.2 var prófuð á nokkrum völdum vatnshlotum sem hafa ekki orðið fyrir breytingum á vatnsformfræði og öðrum sem eru ýmist undir áhrifum af breytingum á vatnsbúskap eða formfræði eða hvorutveggja. Vatnshlotin hafa ekki verið metin með sambærilegum hætti áður þar sem önnur aðferð var notuð við fyrsta mat á vatnsformfræði stöðuvatnshlota sem gætu talist manngerð eða mikið breytt (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020). Þá var ekki gefin einkunn fyrir matsþætti líkt og hér er gert heldur var miðað við fjórar forsendur sem lýsa miklum vatnsformfræðilegum breytingum stöðuvatna (tafla 11). Vatnshlot taldist hafa orðið fyrir umtalsverðum breytingum á vatnsformfræði ef einhver af forsendunum fjórum átti við. Matsþættir í flokkunarkerfinu sem hér er lagt fram eru ekki þeir sömu og áður, en nokkrir þeirra eru sama eðlis og forsendurnar sem notaðar voru í fyrri skýrslu um fyrstu skref við skilgreiningu á manngerðum og mikið breyttum vatnshlotum (tafla 11).

Tafla 11. Samanburður á forsendum við flokkun á vatnsformfræði stöðuvatna. Annars vegar forsendur sem notaðar voru til að skilgreina vatnsformfræði stöðuvatna á virkjanasvæðum (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020) og hins vegar hliðstæðir matsþættir sem nota á við samkvæmt aðferð í kafla 3.2.

Fyrstu forsendur við mat á umfangi vatnsformfræðilegra breytinga*	Hliðstæðir matsþættir skv. nýrri aðferðafræði (tafla 8)
Straumvötnum hefur verið breytt í stöðuvötn sem eru stærri en 0,5 km ²	Viðstöðutími vatns á vatnasviði er eini matsþátturinn í flokkunarkerfinu í töflu 8 sem tengist óbeint þessari forsendu
Vatnshæð stöðuvatna hefur breyst meira en sem nemur 10 m	Enginn matsþáttur í ástandsflokkunarkerfinu í töflu 8 endurspeglar beint þessa forsendu en hún hefur þó óbeina tengingu við matsþáttinn <i>breyting á vatnsstöðu</i>
Árlegar breytingar á vatnshæð eru meira en 3 metrar á milli há- og lágstöðu vatns í stöðuvatni/lóni vegna miðlunar á vatni	Matsþátturinn <i>breyting á vatnsstöðu</i> í töflu 8 hefur beina tengingu við þessa forsendu. Breyting á vatnsstöðu er ekki talin vera viðunandi ef hún er meiri en 3 m
Jökulvatni hefur verið veitt í stöðuvatn sem áður var tært bergvatn	Hindranir ofan til á vatnasviði sem hindra setferla er öfugt við fyrri forsendur. Það þyrfti að bæta við matsþætti fyrir aukningu á seti í vötnum

*Heimild: Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020.

Niðurstöður fyrir vatnshlotin sem voru prófuð eru í töflu 12. Lokaeinkunn fyrir vatnsformfræðilega gæðaðætti var reiknuð út frá jöfnu 4 þar sem einkunn fyrir vatnsbúskap gildir 75% af heildareinkunn og formfræði/samfella gildir 25%. Þingvallavatn, Haukadalsvatn, Reyðarvatn og Mývatn teljast vera í mjög góðu vatnsformfræðilegu ástandi miðað við forsendurnar sem notaðar voru við matið. Þess verður að geta að flokkunarkerfið í kafla 3.2 nær ekki utan um rúmmálsbreytingar vegna dýpkunar líkt og varð í Ytri-Flóa Mývatns, en í matskerfi Norðmanna er

hins vegar matsþáttur sem tekur til þess háttar breytinga og þar er miðað við að vatn sem orðið hefur fyrir >10% rúmmálsaukningu telst ekki vera í viðunandi vatnsformfræðilegu ástandi. Skoða mætti hvort ástæða sé til að taka upp þann matsþátt fyrir flokkun vatnsformfræði stöðuvatna á Íslandi. Lagarfljót telst vera í góðu ástandi, en Þórisvatn, Stífluvatn og Þiðriksvallavatn eru í ástandi sem ekki telst viðunandi samkvæmt flokkunarkerfinu. Kelduárlón fær enn lakari einkunn enda uppfyllir lónið fyrsta skilyrði um að vera mikið breytt vatnshlot (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2022).

Þessi prófun á flokkunarkerfi fyrir vatnsformfræðilegt ástand er vissulega takmörkuð, en sýnir þrátt fyrir það að matskerfið endurspeglar að miklu leyti umfang breytinga á vatnsformfræði og er niðurstaða útreikninganna í samræmi við sérfræðimat höfunda þessarar skýrslu. Vatnsformfræði þriggja vatnshlota í töflu 12 voru einnig metin í skýrslu um manngerð og mikið breytt vatnshlot (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020), þ.e. Þórisvatn, Kelduárlón og Lagarfljót. Niðurstaða mats með báðum aðferðum gaf sambærilega niðurstöðu. Þórisvatn og Kelduárlón teljast hafa orðið fyrir umfangsmiklum vatnsformfræðilegum breytingum (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020) og fá þau jafnframt lága einkunn fyrir vatnsformfræði samkvæmt flokkunarkerfinu sem hér er lagt til (tafla 12). Lagarfljót var ekki talið hafa orðið fyrir umfangsmiklum vatnsformfræðilegum breytingum (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020) og samkvæmt nýja flokkunarkerfinu telst það vera í góðu vatnsformfræðilegu ástandi (tafla 12).

Tafla 12. Prófun á aðferðafræði við mat á vatnsformfræði nokkurra stöðuvatnshlota með aðferð sem kynnt er í kafla 3.2. Gefnar eru upp einkunnir fyrir hvern flokk matsþátta (A–C) auk heildareinkunnar sem reiknuð er með jöfnu 4 fyrir bæði jökulvötn og bergvötn. Einkunnir sem eru með ljósgráu letri voru ekki teknar með í útreikninga fyrir viðkomandi vatnshlot. Formfræði var notuð fyrir bergvatn en samfella fyrir jökulvatn. Litakvarði og einkunnir ástandsmats eru settar fram í töflu 9.

Vatnshlot	Vatnshlotanr.	Einkunn			Heildar-einkunn	Litakvarði ástandsmats
		A. Vatnsbúskapur	B.* Formfræði	C.** Samfella		
Lagarfljót	102-1857-L	3,67	5,00	3,00	3,50	
Þórisvatn	103-2162-L	2,83	2,50	3,00	2,88	
Þingvallavatn	104-2232-L	5,00	5,00	5,00	5,00	
Kelduárlón	102-2452-L	2,33	3,50	3,00	2,50	
Þiðriksvallavatn	101-1028-L	3,33	3,00	5,00	3,25	
Stífluvatn	101-1386-L	2,50	4,00	5,00	2,88	
Haukadalsvatn	101-647-L	5,00	5,00	5,00	5,00	
Mývatn	102-1448-L	5,00	5,00	5,00	5,00	
Reyðarvatn	104-358-L	5,00	5,00	5,00	5,00	

*Aðeins notað fyrir bergvötn.

**Aðeins notað fyrir jökulvötn.

Samanburður var gerður á lokaeinkunn sem reiknuð var annars vegar út frá tveimur og hins vegar út frá þremur vatnsformfræðilegum gæðapáttum fyrir vatnshlotin í töflu 12. Mat á vatnsformfræði sem byggt er á þremur gæðapáttum (vatnsbúskap, formfræði og samfellu) getur gefið aðra útkomu en mat sem aðeins byggist á tveimur gæðapáttum. Flokkun vatnshlota sem hafa ekki orðið fyrir vatnsformfræðilegum breytingum voru óbreytt hvort sem notaðir voru tveir eða þrír gæðapættir. Hins vegar skipti fjöldi gæðapátta meira máli við flokkun vatnshlota sem orðið hafa fyrir breytingum og í þremur tilvikum af fimm varð breyting á flokkuninni. Vatnsformfræðilegt ástand Kelduárlóns, Stífluvatns og Þiðriksvallavatns fór upp um einn ástandsflokk ef þrír gæðapættir voru notaðir miðað við flokkun út frá tveimur gæðapáttum.

4.3 Tillögur að nýjum matsþáttum fyrir vatnsformfræði

Tillaga 1: Eftir að niðurstöður prófana á aðferðafræði við mat á vatnsformfræði straumvatna lágu fyrir vögnuðu efasemdir um að aðferðin næði nægilega vel yfir breytingar á formfræði jökuláa, t.d. vegna rennslisjöfnunar og svifaursminnkunar neðan miðlunarlóna. Fjallað er um þessar vangaveltur í kafla 4.1. Til að bregðast við þeim er hér lagt til að taka inn nýjan matsþátt fyrir formfræði, *breyting á niðurgreftri árinna* sem er hluti af norska matskerfinu (vertikal graving, innskjæring, Harby o.fl., 2018; 2020) og notaður var í fyrsta mati á vatnsformfræðilegum breytingum vegna vatnsaflsvirkjana (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020). Matsþátturinn nær að grípa breytingar á farvegum þar sem straumvatn byrjar að einangrast í farvegum í stað þess að flæmast um áraura (t.d. Blanda 1). Matþættinum er lýst á eftirfarandi hátt (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020, bls. 21):

Breyting á niðurgreftri. Við náttúrulegar aðstæður grafa ár sig niður á ákveðnum svæðum en hlaða undir sig á öðrum. Þetta er að jafnaði mjög hægt og stigvaxandi ferli nema einhver breyting verði á rofmætti árinna. Breytingar á árfarvegi [...] raska náttúrulegu ferli og þróun árfarvegar, geta leitt af sér breytingu á vatnafræðilegu ástandi og þannig orsakað aukinn niðurgroft og dýpi. Oftast verður áin beinni [...]

Matsþátturinn sem lagt er til að bæta við flokkunarkerfi fyrir vatnsformfræði straumvatna kæmi inn í lið A ásamt hlutfallslegu umfangi varnargarða í viðkomandi vatnshloti (töflur 7 og 13). Einkunn fyrir lið A væri þá meðaleinkunn af matsþáttunum tveimur sem tilheyra þeim lið. Í viðauka III er að finna flokkunarkerfi fyrir vatnsformfræði straumvatna að viðbættum matsþættinum sem hér er lagður til.

Tafla 13. Tillaga að matsþætti fyrir vatnsformfræði straumvatna sem bætist við lið A (jafna 1 og 2). Einkunn fyrir lið A yrði þá metin út frá meðaleinkunn þessara tveggja matsþátta. Mörk flokkanna eru tekin óbreytt úr Harby o.fl. (2018).

Áhrifaþáttur	Matsþáttur	Mælikvarði á breytingar	Mörk flokka				
			Náttúrulegt	Lítill áhrif	Nokkur áhrif	Mikil áhrif	Mjög mikil áhrif
Einkunnagjöf			5	4	3	2	1
A	Varnargarðar	Hversu stór hluti árinna? (%)	<10	10–30	30–65	65–80	>80
	Niðurgroftur árinna	Meðaldýpkun farvegarins sem áin hefur grafið sig (m)	<0,5		0,5–1,0		>1,5

Tillaga 2: Við prófun á flokkunarkerfi fyrir vatnsformfræðilegt ástand stöðuvatna komu fram vangaveltur um hvort bæta þyrfti við matsþætti til að meta áhrif af tilfærslu gruggugra jökulvatna yfir á önnur vatnasvið. Slíkar breytingar er algengt að finna á virkjanasvæðum á Íslandi og var sá matsþáttur notaður við skimun á umfangsmiklum vatnsformfræðilegum breytingum stöðuvatna/lóna á vatnasviðum stórra vatnsaflsvirkjana (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020). Það mætti hugsa sér að hægt væri að meta breytingar á svifaur í stöðuvatni hvort sem um er að ræða minnkun á svifaur eða aukningu. Þá skyldi meta breytingarnar miðað við annan hvorn matsþáttinn sem gefinn er upp í töflu 14. Í viðauka IV er að finna flokkunarkerfi fyrir vatnsformfræði stöðuvatna að viðbættum matsþættinum sem hér er lagður til.

Tafla 14. Tillaga að matsþætti fyrir vatnsformfræði stöðuvatna sem tæki bæði til minnkunar og aukningar á svifaur. Hægt væri að nota hvorn matsþáttinn um sig eftir því hvort breytingar á vatnsformfræði valda minnkun eða aukningu á svifaur í vatnshloti.

Gæða-þáttur	Matsþáttur	Mælikvarði	Mörk flokka				
			Mjög gott ástand	Gott ástand	Ekki viðunandi ástand	Slakt ástand	Lélegt ástand
Einkunn			5	4	3	2	1
Samfella	Minnkun á framburði svifaurs	Hlutfall svæða ofar á vatnasviði sem lokast vegna manngerðra hindrana (%)	<5	5–10	10–50	50–90	>90
	Aukning á framburði svifaurs	Aukning á svifaur vegna tilfærslu vatns yfir í önnur vatnshlot	Engin breyting		Gruggugu vatni veitt í minna gruggugt vatn		Gruggugu jökulvatni veitt í bergvatn

5 Áhrif vatnsformfræðilegra gæðapátta á lífríki ferskvatns á Íslandi

Áhrif vatnsformfræðilegra þátta á lífríki í ferskvatni eru margvísleg og oft á tíðum er um flókið samspil að ræða (t.d. Zeiringer o.fl., 2018; Bakken o.fl., 2019; Henriksen o.fl., 2019; Søndergaard o.fl., 2019). Vatnsformfræðilegar aðstæður eru mikilvægar í mótun vistkerfa í vatnshlotum og hafa t.d. rennsli og aurframburður bein áhrif á aðstæður og eiginleika vistkerfa. Sem dæmi má nefna hafa rennslishættir áhrif á eiginleika botnsetsins og þar með á búsvæði lífvera sem lifa að hluta eða öllu leyti á botni. Einnig má nefna að magn svifaurs hefur áhrif á rofmátt og sjóndýpi í vatninu og hefur þannig áhrif á framleiðslu lífræns efnis í vistkerfinu, þekju ásætupörunga og botnfestu smádyra. Röskun á vatnsformfræðilegum þáttum getur haft umtalsverð áhrif á tegundasamsetningu viðkomandi vistkerfis, frumframleiðni, framburð næringarefna svo og vöxt og viðgang lífvera í vistkerfinu.

Að jafnaði er lífríki vistkerfa nokkuð vel aðlagð þeim náttúrulega breytileika sem er til staðar (t.d. Bunn & Arthington, 2002). Einstaka náttúrulegir atburðir geta haft í för með sér langtíma afleiðingar, t.d. ef straumbungi er óvenju hár/lágur og ef slíkar aðstæður eru langvinnari eða tíðari en ella eða tímasetning þeirra er óvanaleg (t.d. Nagrodski o.fl., 2012). Almennt má segja að slíkir atburðir heyri til undantekninga við náttúrulegar aðstæður. Hins vegar eru mannleg inngríp að jafnaði viðvarandi og geta þannig breytt vistkerfi viðkomandi vatnshlots til framtíðar. Mannleg inngríp geta haft í för með sér umtalsverð frávik frá náttúrulegum aðstæðum og geta ýmist valdið skammtíma eða óafturkræfum breytingum á vistkerfi straum- og stöðuvatna (t.d. Greimel o.fl., 2018; Poikane o.fl., 2019).

5.1 Straumvötn

Rennsli er lykilþáttur í mótun umhverfis í straumvötnum og þar með einnig í mótun búsvæða og framvindu vistkerfa í viðkomandi vatnagerð (Greimel o.fl., 2018; Zeiringer o.fl., 2018). Rennslissveiflur hafa meðal annars áhrif á setframburð og rofmátt straumvatns sem getur valdið breytingum á botnagerð, t.d. með uppsöfnun fíngerðs efnis sem meðal annars getur valdið breytingum á súrefnisaðstæðum. Slíkar breytingar geta haft áhrif á lífslíkur og viðkomu vatnalífvera, enda hefur lífsferill þeirra þróast sem bein svörun við náttúrulegum rennslisháttum (Bunn & Arthington, 2002). Rennslisbreytingar af mannavöldum geta valdið umfangsmiklum breytingum á vistkerfi straumvatna eins og fjölmargar rannsóknir sýna (Erlín Emma Jóhannsdóttir o.fl., 2019; Magnús Jóhannsson o.fl., 2011; Poff & Zimmerman, 2010; Bunn & Arthington, 2002; Poff o.fl., 1997). Hvers konar breytingar á rennslisháttum geta raskað búsvæðum vatnalífvera sem aftur getur haft í för með sér að tegundum fækkar, þéttleiki lífvera minnkar, nýliðun minnkar, fæðuvefur breytist og lífsferlar raskast svo eitthvað sé nefnt (sjá ítarlegt yfirlit í töflu 15).

Rennslissveiflur sem verða vegna reksturs vatnsaflsvirkjana geta haft áhrif á framvindu vistkerfa, svo sem vegna áhrifa á uppeldisskilyrði laxfiska og fæðuframboð (Magnús Jóhannsson o.fl., 2002). Sem dæmi má nefna sýndu rannsóknir á lífríki í Sogi að ef lágrennsli fer niður fyrir tilskilin viðmiðunarmörk ($65 \text{ m}^3/\text{s}$) í ákveðinn tíma hefur það neikvæð áhrif á afkomu hrognna og seiða (Magnús Jóhannsson o.fl., 2007). Snöggar, ónáttúrulegar rennslissveiflur eru taldar verstar fyrir afkomu laxaseiða á fyrsta og öðru ári (Magnús Jóhannsson o.fl., 2002; 2011). Markvisst hefur verið dregið úr slíkum sveiflum hin síðari ár í Sogi þótt hraði breytinga á rennsli og vatnshæð sé í

einhverjum tilvikum nokkuð meiri en leiðbeiningar gera ráð fyrir (Magnús Jóhannsson o.fl., 2011; Auður Atladóttir o.fl., 2019).

Tafla 15. Helstu áhrif rennslisbreytinga á lífríki í straumvötnum. Þýðing á töflu 4.2 í yfirlitsgrein Zeirigner o.fl. (2018) sem byggir á samantekt niðurstaðna úr um 160 ritrýndum tímaritsgreinum.

Rennslisættir	Breyting	Áhrif á vatnalífverur	Áhrif á lífverur á bakkasvæðum
Vatnsmagn	Rennslisjöfnun (há- og lágrennsli minnkar eða hverfur)	Tegundafjölbreytni minnkar Viðkvæmum tegundum fækkar Tegundasamsetning breytist og aðrar tegundir verða ríkjandi Þéttleiki lífvera minnkar Framandi tegundum fjölga	Ungar fræplöntur þorna upp og skrælna Frædreifing plantna misferst Flóran einkennist af þurrlandstegundum Tegundum fækkar Gróður breiðist út í farvegi Þekja gróðurs eykst á vatnsbökkum Samfélög lífvera breytast
	Aukið há- og/eða lágrennsli	Lífsferlar raskast Tegundum fækkar Tegundasamsetning og hlutdeild tegunda breytist Viðkvæmum tegundum fækkar	
Tíðni	Tíðni flóða minnkar	Árstíðabundinn æxlunartími færast til eða raskast Frjósemi minnkar Þéttleiki fiskitegunda minnkar eða þær hverfa Viðkvæmum og einlendum tegundum fækkar Búsvæði seiða minnka eða þeim fækkar	Samsetning samfélaga breytist Tegundum fækkar Meiri viður fellur til í vistkerfinu
Tímalengd	Flóðslétta er skemur á kafi en við náttúrulegar aðstæður	Þéttleiki seiða minnkar Tegundasamsetning seiða breytist Sérhæfðum lindýrum á flóðsléttum fækkar	Vaxtarhraði eða dánartíðni minnkar Tegundasamsetning breytist Samfélög einkennast af þurrlandstegundum og tegundum sem þola mikinn þurrk Þekja bakkagróðurs minnkar
	Lágrennsli varir lengur en ella	Þéttleiki lífvera breytist Ungviði vatnadýra skolar niður ána í auknum mæli	Þekja gróðurs minnkar eða verður engin Tegundafjölbreytni plantna minnkar Samfélög einkennast af tegundum sem þola þurrk
	Undirlag er lengur á kafi en ella	Búsvæði í flúðum hverfa	Gróðursamfélög breytast Tré drepast
Tímasetning	Árstíðabundin flóð hliðrast til	Merki fyrir hrygningu raskast Frjósemi og nýliðun minnkar Uppbygging samfélaga vatnalífvera breytist	
	Fyrirsjáanleiki eykst	Tegundafjölbreytni og samfélög vatnalífvera breytist Merki fyrir hrygningu raskast Frjósemi og nýliðun minnkar	
	Árstíðabundin flóð minnka eða hverfa	Merki fyrir far raskast Aðgengi að votlendi og lænum (e. backwaters) minnkar eða lokast Fæðuvefur breytist	Nýliðun bakkaplantna minnkar Ágengni framandi tegunda eykst Vaxtarhraði plantna minnkar og dánartíðni eykst Tegundum fækkar og gróðurþekja minnkar
Hraði breytinga	Vatnshæð breytist hratt	Náttúrulegt rek lífvera eykst eða þær fara á þurrk	
	Flóð dvína hraðar en ella		Ungar fræplöntur ná ekki að vaxa upp

Annað dæmi um áhrif breytinga á vatnsformfræði af manna völdum er árlegt yfirfall úr Háslóni Kárahnjúkavirkjunar (Erlín Emma Jóhannsdóttir o.fl., 2019). Ef dæma má af rannsókn sem gerð var árið 2014 hefur árlegt yfirfall jökulvatns úr Háslóni talsverð áhrif á lífríki í Jökulsá á Dal. Þéttleiki hryggleysingja, þörungum og blábaktería sem og magn blaðgrænu minnkar á efstu 60 km árinna í kjölfar yfirfalls að haustlagi. Hryggleysingjum eins og rykmýi, bitmýi og ánum skolaði burt eða þeir hurfu með öðrum hætti í kjölfar rennslisaukningar úr Háslóni sem nam 210 m³/s þegar hún náði hámarki í september 2014. Einnig breyttist tegundasamsetning hryggleysingja og

kísilþörungum á þann veg að bitmý varð ríkjandi hópur í stað rykmýs og landnematagundir kísilþörungum urðu hlutfallslega algengari en aðrar tegundir eftir yfirfallið úr Háslóni í byrjun september (Erlín Emma Jóhannsdóttir o.fl., 2019).

Stíflur og önnur mannvirki í farvegum svo og uppskipting farvega geta komið í veg fyrir göngu fiska á hrygningarstöðvar hvort heldur er í ferskvatni eða sjó (Bunn & Arthington, 2002; Magnús Jóhannsson o.fl., 2011; Benóný Jónsson & Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir, 2020). Stíflur sem gerðar eru í farvegum straumvatna mynda stöðuvötn eða lón sem ekki voru til staðar áður. Við það hverfa lífverur eins og bitmý sem er aðlagð lífi í straumvatni og sérhæfðar stöðuvatnstegundir koma í staðinn eða verða algengari, t.d. dýra- og plöntusvif (Benóný Jónsson & Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir, 2020; Kalff, 2002).

Stíflur og lónmyndun valda einnig breytingum á framburði svifauers. Umfangsmiklar breytingar á magni svifauers í jökulám, bæði til minnkunar og aukningar, hafa bein áhrif á lífríkið. Rannsóknir í Jökulsá á Dal sýndu að þéttleiki og tegundafjölbreytni botnhryggleysingja jókst eftir að áin var stífluð og gruggugt jökulvatn hætti að renna í hana árið um kring (Erlín Emma Jóhannsdóttir o.fl., 2019). Önnur rannsókn á vatnasviði Jökulsár á Dal sýndi að gruggugt vatn sem rennur úr Háslóni í Glúmstaðadal, sem áður var bergvatnsá, hefur í för með sér minnkun á þéttleika og tegundafjölbreytni botndýra (Erlín Emma Jóhannsdóttir & Guðrún Jónsdóttir, 2005; Erlín Emma Jóhannsdóttir, 2006; 2008; 2009; 2012; 2013; Erlín Emma Jóhannsdóttir & Kristín Ágústsdóttir, 2011; Elísabet Ragna Hannesdóttir & Erlín Emma Jóhannsdóttir, 2014). Sama var upp á teningnum í Andakílsá í kjölfar aurflóðs sem varð þegar hleypt var úr inntakslóni Andakílsárvirkjunar í maí 2017 (Jón S. Ólafsson o.fl., 2022). Við það varð rof á botnseti lónsins og gríðarlegt magn af aur barst niður í fiskgenga hluta Andakílsár. Mjög mikið rask varð á búsvæðum vatnalífvera á um tveggja kílómetra kafla neðan lónsins, enda var árbotninn víða hulinn 20–60 cm þykku setlagi eftir aurflóðið. Bæði þéttleiki og fjölbreytileiki botnhryggleysingja, fyrst og fremst rykmý og bitmý, hrundi í hamförunum. Sömu sögu má segja um frumframleiðendur á botni árinna (mælt sem blaðgræna *a*) og stofn laxfiska í ánni; klakárgangur ársins 2017 misfórst alveg vegna aurflóðsins og skarð var hoggið í eldri seiðaárganga.

Varnargarðar hafa áhrif á farvegi straumvatna og er hlutfallsleg lengd þeirra miðað við lengd farvega matsþáttur fyrir vatnsformfræði straumvatna. Varnargarðar þrengja yfirleitt að farvegi og koma í veg fyrir að vatn flæmist um flóðsléttuna. Við þetta eykst rennslis hraði árinna og þar með einnig burðargeta vatnsins. Það veldur því að áin grefur sig niður í farveginn og framburður svifauers eykst með tilheyrandi afleiðingum fyrir búsvæði vatnalífrikis (Henriksen o.fl., 2019).

5.2 Stöðuvötn

Allnokkrar rannsóknir fjalla um áhrif vatnsformfræðilegra breytinga á eiginleika vatna, einkum um áhrif vatnshæðarbreytinga í tengslum við vatnsaflsvirkjanir (sjá yfirlit í Carmignani & Roy, 2017; Zohary & Ostrovsky, 2011). Áhrif vatnsformsfræðilegra breytinga á vistkerfi stöðuvatna ráðast ekki einungis af umfangi breytinganna heldur einnig af tegundasamsetningu og einkennistegundum í viðkomandi vistkerfi (Bakken o.fl., 2019). Í flestum stöðuvötnum er að finna þrenns konar búsvæði; vatnsbol, fjörusvæði (e. *littoral*) og mjúkbott (e. *profundal*). Í sérhverju

búsvæði er að finna einkennandi samfélög vatnalífvera sem bregðast misjafnlega við vatnsformfræðilegum breytingum á búsvæðunum. Áhrifa af vatnsformfræðilegum breytingum gætir fyrst og fremst í vatnsbol og á fjörusvæðum stöðuvatna og miðast umfjöllun kaflans við það.

5.2.1 Áhrif á vistkerfi í vatnsbol

Vatnsformfræðilegar breytingar sem hafa áhrif á vistkerfi í vatnsbol stöðuvatna á Íslandi eru einkum breytingar á magni svifaurs og viðstöðutíma vatns. Aukning á svifaur veldur því m.a. að sólarljós nær ekki eins langt niður í vatnsbolinn og ella. Við það minnkar ljóstillífunarbelti í vatninu og frumframleiðni ljóstillífandi lífvera í svifi minnkar. Þetta hefur í för með sér minna fæðuframboð fyrir lífverur ofar í fæðuvefnum, en frumframleiðendur eru mikilvæg fæða fyrir ýmis vatnadýr, svo sem hryggleysingja og fiska. Rannsóknir sem gerðar voru í Lagarfljóti á árunum 2011 og 2012 leiddu í ljós að þéttleiki og tegundaaudgi kísilþörunga minnkaði í kjölfar þess að magn svifaurs í Lagarfljóti jókst eftir að Kárahnjúkavirkjun var gangsett (Iris Hansen & Jón S. Ólafsson, 2019).

Viðstöðutími vatns á vatnasviði eykst oft vegna athafna mannsins svo sem vegna virkjanaframkvæmda. Það á til dæmis við þegar straumvatni er breytt í stöðuvatn eða ef vatnsmagn stöðuvatna eykst vegna stíflugerðar. Lengri viðstöðutími getur haft mikil áhrif á vistkerfi í ferskvatni og í sjó. Hann getur valdið auknum vexti frumframleiðandi lífvera í vatninu og þar með meiri upptöku næringarefna úr vatnsfasa (Berner & Berner, 2012; Kumwimba o.fl., 2022). Þetta á sérstaklega við um tær bergvötn þar sem sólarljós er ekki takmarkandi fyrir frumframleiðni. Aukin upptaka næringarefna ofarlega á vatnasviði getur valdið því að minna berst af lífaðgengilegum næringarefnum niður eftir því og hefur þannig áhrif á frumframleiðni neðar á vatnasviðinu. Lengri viðstöðutími getur einnig valdið minnkun á lífaðgenglegum fosfór (e. *bioavailable P*) vegna ólífrænna ferla. Fosfór er torleyst efni sem fellur auðveldlega út úr vatnsfasa (Ruttenberg, 2003; Raiswell & Canfield, 2012). Vísendingar um slíkar efnabreytingar mátti sjá í rannsókn sem gerð var á efnasamsetningu vatns í Jökulsá á Dal og Lagarfljóti eftir gangsetningu Kárahnjúkavirkjunar (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2017). Á sama tíma og heildarframburður köfnunarefnis (N-total) minnkaði jókst heildarstyrkur fosfórs (P-total) sem er öfugt við það sem búast mætti við ef breytingin væri vegna lífrænna ferla. Aukningin á P-total fór saman við minnkandi styrk orthófosfats (PO_4) og var breytingin túlkuð þannig að PO_4 hefði hvarfast við lífrænar og ólífrænar agnir, fallið út úr vatnsfasa vegna aukins viðstöðutíma vatns og orðið óaðgengilegt fyrir ljóstillífandi lífverur. Aukinn viðstöðutími vatns ofarlega á vatnasviði getur hins vegar aukið frumframleiðni á því svæði. Aukin frumframleiðni í vötnum ofarlega á vatnasviðum eykur lífsafkomu smádyra sem aftur eykur afkoma fiska neðar á vatnasviðinu. Dæmi um slíkt eru til dæmis straumvötn á Íslandi sem eru undir áhrifum af vötnum og votlendi á vatnasviði (vatnagerð RL3). Þau eru oftast en ekki með ríkulegra vatnalíf heldur en ár sem renna hratt af vatnasviðum (vatnagerð RL1) (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2020).

5.2.2 Áhrif á vistkerfi á fjörusvæðum

Vatnsformfræðilegar breytingar sem hafa áhrif á vistkerfi fjörusvæða í stöðuvötnum á Íslandi eru einkum vatnshæðarbreytingar og breytingar á magni svifaurs. Sveiflur í vatnsstöðu miðlunarlóna eru iðulega þó nokkrar og fjörusvæði lóna fara reglulega á þurr. Lækkun vatnsborðs leiðir til þess að búsvæði lífvera á fjörusvæði fara á þurr og má því segja að búsvæðin séu ótrygg og lífverur geta drepist, klára ekki lífsferilinn og/eða nýliðun verður engin eða minni en áður.

Rannsókn í Lagarfljóti 2011 og 2012 leiddi í ljós að aukinn svifaur í fljótinu með tilkomu Kárahnjúkavirkjunar hefur haft áhrif á lífsskilyrði kísilþörungna og hryggleysingja á fjörubotni (Iris Hansen & Jón S. Ólafsson, 2019). Ætla má að svifaursbreytingar valdi því að belti frumframleiðenda efst í fjöru Lagarfljóts nái ekki eins djúpt og það gerði fyrir virkjun. Þar með hefur dregið úr fæðuframboði fyrir aðrar lífverur í vatninu eins og hryggleysingja og fiska. Jafnframt berst ljós styttra ofan í vatnið og um leið minnkar það rúmmál þar sem ljóstillífun getur farið fram í fjörusvifinu. Þess má geta að rannsókn sem gerð var í Lagarfljóti fyrir Kárahnjúkavirkjun (2006 og 2007) sýndi að þéttleiki smádyra á fjörusvæði jókst með minnkandi magni svifaurs á tímabilinu frá 1975 til 2007 (Iris Hansen o.fl., 2013). Eitt af fyrri sérkennum Lagarfljóts eru sveiflur í vatnshæð yfir árið sem stýrðust annars vegar af stíflunni við Lagarfoss og voru hins vegar af náttúrulegum ástæðum. Breytingar á vatnshæð voru minni árin 2011 og 2012 en þær voru fyrir virkjun (Iris Hansen & Jón S. Ólafsson, 2019).

Annað dæmi er Þórisvatn sem áður var tært stöðuvatn, en var breytt í miðlunarlón árið 1971 og varð jökulskotið vatn þegar Köldukvísl var veitt til vatnsins. Í kjölfarið versnuðu lífsskilyrði frumframleiðenda í svifi og á fjörubotni, smádyra í fjöru svo og seiða í vatninu til muna bæði vegna aukins svifaurs og mikilla vatnshæðarbreytinga sem leiddu til mun minni nýliðunar urriða, en hann var til staðar fyrir virkjunarframkvæmdir (Benóný Jónsson & Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir, 2019).

Vatnshæðarbreytingar í stöðuvötnum og lónum geta haft áhrif á vatnablöntur. Fari þær á þurr við vatnsborðlækkun leita plönturnar á meira dýpi og iðulega niður fyrir lægstu vatnsstöðu. Þegar vatnsborð hækkar aftur getur vatnsdýpið orðið það mikið að ljós nær ekki nægilega langt niður í vatnsbolinn til að plönturnar geti ljóstillífað (Bakken o.fl., 2019).

Að lokum má nefna að vatnsstaða í lónum getur haft talsverð áhrif á grunnvatnsstöðu á áhrifasvæði virkjana. Þegar uppistöðulón fyllast getur grunnvatnsstaða í jarðvegi umhverfis lónin hækkað, einkum þar sem flatlent er. Þetta er tilfallið við Blöndulón þar sem landið umhverfis lónið blotnar upp þegar lónið er fyllt að hausti (Borgþór Magnússon o.fl., 2009). Með tilkomu lónsins hafa orðið mikilar breytingar á gróðri á mjóu belti (<50 m á flatlendi) næst lóninu og hefur plöntutegundum fækkað og eindregnar þurrlendistegundir hafa horfið eða látið undan síga. Ennfremur hefur landnám votlendistegunda verið lítið og er rakið til þess að land blotnar ekki upp fyrr en í lok sumars þegar plöntur eru að ljúka vexti. Við Lagarfljót, utan við Lagarfljótsbrú, urðu einnig talsverðar gróðurbreytingar við að grunnvatnsstaða á aðliggjandi láglandissvæðum hækkaði við virkjun Lagarfoss árið 1975 (Sigurður H. Magnússon & Kristbjörn Egilsson, 2008). Helstu gróðurbreytingar voru þær, að svæði sem áður voru vaxin flóagróðri blotnuðu enn frekar og eindregnar flóategundir (t.d. tjarnastör, gulstör og horblaðka) urðu ríkjandi í gróðri og þar sem vatnsborð hækkaði mest drapst gróður að mestu. Grunnvatnsstaða getur haft mjög mikil áhrif á vatnsstöðu aðliggjandi votlendis sem svarar fljótt breytingu á grunnvatnsstöðu hverju sinni (Borgþór Magnússon o.fl., 2009; Sigurður H. Magnússon & Kristbjörn Egilsson, 2008).

6 Samantekt

Í þessari skýrslu er lögð fram aðferðafræði til að meta vatnsformfræðilegt ástand straum- og stöðuvatna á Íslandi. Farið er yfir aðferðir sem Norðurlandþjóðirnar hafa þróað til að meta vatnsformfræðilegt ástand straum- og stöðuvatna og byggir aðferðafræðin meðal annars á nálgun og reynslu þeirra. Unnið var í samræmi við samninga Umhverfisstofnunar við fagstofnanir og áherslur í vatnaáætlun Íslands 2022–2027. Sérstök áhersla var lögð á að þróa aðferðir sem hægt væri að nota til að greina vatnshlot sem eru í mjög góðu vatnsformfræðilegu ástandi. Flokkun á vatnsformfræðilegu ástandi er byggð á greiningu á álagi af mannavöldum sem hefur áhrif á vatnsformfræði vatnshlota. Ef ekkert álag er til staðar má gera ráð fyrir að vatnsformfræði viðkomandi vatnshlots sé náttúruleg og endurspegli þar með mjög gott vatnsformfræðilegt ástand.

Í skýrslunni eru sett fram flokkunarviðmið fyrir matsþætti sem ná yfir helstu vatnsformfræðilegar breytingar sem búast má við að vatnshlot á Íslandi verði fyrir vegna umsvifa mannsins. Flokkunarkerfið byggir á því að hvert vatnshlot fær eina heildareinkunn fyrir vatnsformfræði sem segir til um hvort það er í náttúrulegu (mjög góðu) ástandi hvað varðar vatnsformfræði, eða hvort það hafi orðið fyrir álagi sem hefur áhrif á vatnsformfræðilega gæðapætti. Heildareinkunnin byggir á útkomu á gæðapáttunum sem liggja til grundvallar og ræður hún endanlegri ástandsflokkun á vatnsformfræði vatnshlotanna. Hins vegar getur sérfræðimat orðið til þess að gæðapátturinn sem fær lökustu einkunn sé látinn ráða ef hann veldur afdrifaríkum áhrifum á lífríkið, en það á einungis við ef hann byggir á áreiðanlegum gögnum um nokkra matsþætti. Einkunnakvarðinn skiptist í fimm jafna hluta og endurspeglar hæstu 20% kvarðans mjög gott ástand fyrir vatnsformfræðilega gæðapætti í straum- og stöðuvötnum (þ.e. einkunnir á bilinu 5,00–4,21). Bent er á að hægt sé að skima fyrir breytingum á vatnsformfræði vatnshlota áður en farið er í fulla greiningu á öllum matsþáttum. Í því skyni er lögð fram aðferð til að flokka frá annars vegar vatnshlot sem hafa orðið fyrir engum eða litlum breytingum á vatnsformfræði af mannavöldum og hins vegar vatnshlot sem hafa orðið fyrir mjög miklum breytingum.

Í skýrslunni er gerð prófun á framlagðri aðferðafræði við mat á vatnsformfræði 13 straumvatnshlota og 9 stöðuvatnshlota. Niðurstöður prófananna bentu til þess að aðferðin nái að greina áhrif af umfangsmiklum vatnsformfræðilegum breytingum sem helst má vænta í vatnshlotum á Íslandi og er niðurstaða þeirra í stórum dráttum í samræmi við fyrri niðurstöður mats á vatnsformfræði vatnshlota á virkjanasvæðum. Við prófunina komu fram vangaveltur um hvort bæta þyrfti við tveimur matsþáttum til að meta vatnsformfræði, annars vegar í ám og hins vegar í stöðuvötnum. Lagt er til að bæta við matsþættinum *breyting á niðurgreftri árinna* til að meta áhrif rennslisjöfnunar og svifaursminnkunar í miðluðum ám og áhrif af umfangsmiklum varnargarða. Einnig er lagt til að bæta við matsþætti í stöðuvötnum til að meta áhrif af tilfærslu gruggugra jökulvatna yfir á önnur vatnasvið, en slíkar breytingar er algengt að finna á virkjanasvæðum á Íslandi. Því er lögð fram tillaga að nýjum matsþætti sem metur breytingar á svifaur í stöðuvötnum hvort sem um er að ræða minnkun á svifaur eða aukningu. Einnig má benda á að nauðsynlegt er að nota fleiri matsþætti sem eru hluti af flokkunarkerfi Norðmanna (Harby o.fl., 2018; 2020), en ekki er fjallað um í þessari skýrslu. Það á til dæmis við ef bæta á hrygningar- og uppeldisskilyrði laxfiska í ám sem mótvægi við skerðingu búsvæða á öðrum hlutum farvega. Dæmi um slíka matsþætti eru *straumvatnsflokkar og botngerð* (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020, bls. 23–24).

Flokkunarkerfið sem sett er fram fyrir vatnshlot á Íslandi byggir á aðferð sem lögð hefur verið til í Noregi. Norðmenn hafa þó ekki notað það formlega við ástandsflokkun vatnshlota, en gerð hefur verið prófun á straum- og stöðuvötnum sem gefið hefur góða raun. Samkvæmt heimildum hafa Norðmenn ekki lokið skilgreiningu á mjög góðu vatnsformfræðilegu ástandi. Það hefur heldur ekki verið gert í Danmörku eða Svíþjóð. Finnar hafa skilgreint stigakerfi við ástandsflokkun miðað við vatnsformfræðilega gæðapætti og samkvæmt því eru vatnshlot í mjög góðu vatnsformfræðilegu ástandi ef þau fá núll til þrjú stig, en í lélegu ástandi ef þau fá 10 stig eða fleiri og uppfylla þá fyrsta skilyrði til að vera skilgreind sem mikið breytt vatnshlot.

Flokkunarkerfið sem hér er lagt fram til ástandsflokkunar straum- og stöðuvatna með tilliti til vatnsformfræðilegra gæðapátta er það fyrsta sinnar tegundar á Íslandi. Gæðapættirnir eru metnir með mismörgum matsþáttum sem gætu átt eftir að breytast eftir því sem reynsla kemur á aðferðina. Því þarf að hafa í huga að kerfið er ekki meitlað í stein og mun að öllum líkindum taka breytingum með tíð og tíma. Það ætti þó að ná yfir helstu vatnsformfræðilegar breytingar sem vænta má í ám og vötnum hér á landi, þ.e. vegna nýtingar vatns í vatnsafsvirkjunum. Flokkunarkerfið nær hins vegar ekki yfir breytingar sem verða á smærri kvarða svo sem breytingar vegna þurrkunar lands með framræsluskurðum og þar með breytingum á afrennsli og hugsanlega samfellu á búsvæðum ferskvatnslífvera.

Heimildir

Auður Atladóttir, Hugrún Gunnarsdóttir & Þórhildur Guðmundsdóttir (2019). *Rennslis- og vatnshæðarbreytingar í Sogi neðan Írafoss 2006–2017*. Landsvirkjun, LV-2019-009, 26 bls.

Bakken, T.H., Schönfelder, L.H., Charmansson, J., Alfredsen, K. & Adera, A.G. (2018). *Outlining a hydromorphological classification system for lakes. Data availability, modelling tools and comparable assessment approaches*. Skýrsla Sintef Energy Research, Water Resources 2018:00768. 70 bls.

Bakken, T.H., Beck, V., Schönfelder, L.H., Charmansson, J., Thrane, J-E., Lindholm, M. & Brabrand, Å. (2019). Testing and evaluation of a HYMO classification system for lakes and reservoirs. Proposed new and modified hydromorphological (HYMO) classification system. Skýrsla Sintef Energy Research, Water Resources, 2019:01365. 100 bls.

Benóný Jónsson & Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir (2019). Vatnalífsrannsóknir í Þórisvatni 2017 og 2018. Hafrannsóknastofnun, HV 2019-19. 33 bls.

Benóný Jónsson & Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir (2020). Vatnalíf í nýmynduðu virkjanalóni: Sporðöldulón 2014–2018. Hafrannsóknastofnun, HV 2020-05. 55 bls.

Berner, E.K. & Berner, R.A. (2012). *Global Environment. Water, air, and geochemical cycles*. 2. útg. Princeton University Press. 444 bls.

Borgþór Magnússon, Olga Kolbrún Vilmundardóttir & Victor Helgason (2009). Vöktun á grunnvatni, gróðri og strönd við Blöndulón. Lokaskýrsla 1993–2009. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-09017. 166 bls.

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

Carmignani, J.R. & Roy, A.H. (2017). Ecological impacts of winter water level drawdowns on lake littoral zones: a review. *Aquatic Sciences* 79: 803–824. <https://doi.org/10.1007/s00027-017-0549-9>.

Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Bls. 1–73 í: *Official Journal of the European Communities*, L 327, 22.12.2000. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32000L0060>.

Elísabet Ragna Hannesdóttir & Erlín Emma Jóhannsdóttir (2014). Áhrif gruggs á vatnalífríki Hrafnkelsár. Niðurstöður vöktunar 2013. Náttúrustofa Austurlands, Landsvirkjun, LV-2014-093. 16 bls.

Erlín Emma Jóhannsdóttir (2006). Glúmsstaðadalsá. Áhrif vatnsrennslis, bergsalla og sets úr borgöngum á smádýralíf. Náttúrustofa Austurlands, NA-060070. 10 bls.

Erlín Emma Jóhannsdóttir (2008). Glúmsstaðadalsá. Niðurstöður vöktunar 2007 á áhrif vatnsrennslis, bergsalla og sets úr borgöngum á smádýralíf. Náttúrustofa Austurlands, Landsvirkjun, NA-080081, LV-2008/044. 8 bls.

Erlín Emma Jóhannsdóttir (2009). Glúmsstaðadalsá. Niðurstöður vöktunar 2008 og samanburður á áhrifum vatnsrennslis, bergsalla og sets úr borgöngum á smádýralíf. Landsvirkjun, LV-2009/066. 17 bls.

Erlín Emma Jóhannsdóttir (2012). Áhrif gruggs á vatnalífríki Glúmsstaðadalsár og Hrafnkelsár. Niðurstöður vöktunar 2011. Náttúrustofa Austurlands, Landsvirkjun, NA-120123, LV-2012-64. 14 bls.

Erlín Emma Jóhannsdóttir (2013). Áhrif gruggs á vatnalífríki Glúmsstaðadalsár og Hrafnkelsár. Niðurstöður vöktunar 2012. Náttúrustofa Austurlands, Landsvirkjun, NA-130129, LV-2013-067. 28 bls.

Erlín Emma Jóhannsdóttir, Elísabet Ragna Hannesdóttir, Eydís Salome Eiríksdóttir, Iris Hansen, Jón S. Ólafsson & Sigurður Óskar Helgason (2019). Áhrif yfirfallsvatns úr Háslóni á botnlæga þörunga og hryggleysingja í Jökulsá á Dal. Náttúrustofa Austurlands, Landsvirkjun, NA-190185, LV-2019-035. 79 bls.

Erlín Emma Jóhannsdóttir & Guðrún Á. Jónsdóttir (2005). Glúmsstaðadalsá. Smádyralíf og áhrif vatnsrennslis, bergsalla og sets úr borgöngum. Náttúrustofa Austurlands, NA-050064. 10 bls.

Erlín Emma Jóhannsdóttir & Kristín Ágústsdóttir (2011). Áhrif gruggs á vatnalífríki Glúmsstaðadalsár. Niðurstöður vöktunar 2010. Náttúrustofa Austurlands, Landsvirkjun, NA-110112, LV-2011/066. 18 bls.

Eydís Salome Eiríksdóttir, Oelkers, E.H., Jórunn Harðardóttir & 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.

Eydís Salome Eiríksdóttir, Sunna Björk Ragnarsdóttir, Gerður Stefánsdóttir, Agnes-Katharina Kreiling, Fjóla Rut Svavarsdóttir, Jón S. Ólafsson, Svava Björk Þorláksdóttir & Þóra Hrafnisdóttir (2020). Vistfræðileg viðmið við ástandsflokkun straum- og stöðuvatna á Íslandi. Leiðrétt útgáfa nóvember 2022. Veðurstofa Íslands, VÍ 2020-009. 113 bls.

Eydís Salome Eiríksdóttir, Svava Björk Þorláksdóttir, Þóra Hrafnisdóttir & Gerður Stefánsdóttir (2022). Vatnshlot á virkjanasvæðum. Framhald vinnu við tilnefningu á mikið breyttum vatnshlotum og yfirlit yfir aðgengileg gögn um gæðaðætti. Hafrannsóknastofnunar, KV 2022-16. 22 bls.

Gerður Stefánsdóttir, Svava Björk Þorláksdóttir, Tinna Þórarinsdóttir & Morgane Priet-Mahéo (2021). Vatnsformfræðilegir gæðaðættir straum- og stöðuvatna. Tillaga að gæða- og matsþáttum. Veðurstofa Íslands, VÍ 2021-006. 59 bls.

Greimel, F., Schülting, L., Graf, W., Bondar-Kunze, E., Auer, S., Zeiringer, B. & Hauer, C. (2018). Hydropeaking impacts and mitigation. Bls. 91–110 í: Schmutz, S. & Sendzimir, J. (ritstj.). *Riverine Ecosystem Management. Science for governing towards a sustainable future. Aquatic Ecology Series* 8. Springer Cham. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3>.

Harby, A., Bakken, T.H., Dervo, B., Gosselin, M-P., Kile, M.R., Lindholm, M., Sundt, H. & Zinke, P. (2018). Forslag til metode for klassifisering av hydromorfologisk tilstand i norske elver. Skýrsla Sintef Energi AS, Vannressurser, 2018:00482. 67 bls.

Harby, A., Bakken, T.H., Hansen, B.T., Lindholm, M., Museth, J., Schönfelder, L.H., & Zinke, P. (2020). Hydromorfologisk klassifisering av elver og økologisk relevans - testing av metode. Skýrsla Sintef Energi AS, Vannressurser, 2020:01246. 82 bls.

Hellsten, S. (2022). Finnish HYMO-criteria with explanations for HyMo assessment and preliminary identification of HMWB. Erindi á *Technical Assistance on Preparation of River Basin Management Plans for Six Basins EuropeAid/140294/IH/SER/TR*. Ankara, Tyrklandi, 21.1.2022.

Henriksen, L.D., Davidson, T.A., Baattrup-Pedersen, A. & Larsen, S.E. (2019). Hydromorfologiske kvalitetselementer og understøttelse af god økologisk tilstand i vandløb. Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. Institut for Bioscience, Aarhus Universitet. 38 bls.

Iris Hansen, Eydís Njarðardóttir, Finnur Ingimarsson, Haraldur R. Ingvason & Jón S. Ólafsson (2013). Kísilþörungur og smádyr í Lagarfljóti 2006–2007. Veiðimálastofnun, VMST/13037, LV-2013-068. 78 bls.

Iris Hansen & Jón S. Ólafsson (2019). Kísilþörungur og hryggleysingjar í Lagarfljóti 2011–2012. Hafrannsóknastofnun, HV-2019-027. 61 bls.

Jón S. Ólafsson, Ásta Kristín Guðmundsdóttir, Eydís Salome Eiríksdóttir, Eydís Heiða Njarðardóttir, Iris Hansen, Jóhanna Margrét Haraldsdóttir, Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir & Sigurður Már Einarsson (2022). Aurflóðið í Andakílsá 2017 – afleiðingar þess og framvinda lífríkis. Hafrannsóknastofnun, HV 2022-35. 66 bls.

Kalff, J. (2002). Limnology: inland water ecosystems. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, NJ. 592 bls.

Katrín Sóley Bjarnadóttir, Eydís S. Eiríksdóttir, Gerður Stefánsdóttir, Kristján Geirsson & Sunna B. Ragnarsdóttir (2020). Fyrstu skref við mat á manngerðum og mikið breyttum vatnshlotum. Vatnsformfræðilegar breytingar á straum og stöðuvötnum á virkjanasvæðum. Umhverfisstofnun, UST-2020:09. 48 bls.

Keto, A. (2014). Heavily modified water bodies in Finland. Erindi á *Workshop on GEP – water storage*. 5.3.2014.

Kumwimba, M.N., Bao, L., Jie, Z., Li, X., Huang, J., Wang, W., Li, X., Su, J., Muyembe, D.K., Guide, A. & Dzakupasu, M. (2022). Nutrients retention of a series of small dam-impacted urban rivers in northern China. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 10, 107967.

Lög um stjórn vatnamála nr. 36/2011.

Magnús Jóhannsson, Benóný Jónsson, Erla Björk Örnólfsdóttir, Sigurður Guðjónsson & Ragnhildur Magnúsdóttir (2002). Rannsóknir á lífríki Þjórsár og þveráa hennar vegna virkjana neðan Búrfells. Veiðimálastofnun, VMST-S/02001. 129 bls.

Magnús Jóhannsson, Benóný Jónsson, Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir & Jón S. Ólafsson (2007). Fisk- og botndýrarrannsóknir í Sogi og þverám þess árið 2006. Veiðimálastofnun, VMST/07016. 33 bls.

Magnús Jóhannsson, Guðni Guðbergsson & Jón S. Ólafsson (2011). Lífríki Sogs. Samantekt og greining á gögnum frá árunum 1985–2008. Veiðimálastofnun, VMST/11049; LV-2011/089. 112 bls.

Nagrodski, A., Raby, G.D., Hasler, C.T., Taylor, M.K. & Cooke, S.J. (2012). Fish stranding in freshwater systems: Sources, consequences, and mitigation. *Journal of Environmental Management* 103: 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.03.007>.

Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E. & Stromberg, J.C. (1997). The natural flow regime. *BioScience* 47: 769–784.

Poff, N.L. & Zimmerman, J.K.H. (2010). Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology* 55: 194–205. DOI:10.1111/j.1365-2427.2009.02272.x.

Poikane, S., Zohary, T. & Cantonati, M. (2020). Assessing the ecological effects of hydromorphological pressures on European lakes. *Inland Waters* 10: 241–255. <https://doi.org/10.1080/20442041.2019.1654800>.

Raiswell, R. & Canfield, D.E. (2012). The iron biogeochemical cycle past and present. *Geochemical Perspectives* 1: 1–220.

Reglugerð um flokkun vatnshlota, eiginleika þeirra, álagsgreiningu og vöktun nr. 535/2011.

Reglugerð um stjórn vatnamála nr. 935/2011.

Ruttenberg, K.C. (2003). The global phosphorus cycle. Bls. 585–643 í: Schlesinger, W.H., Holland, H.D. & Turekian, K.K. (ritstj.). *Treatise on Geochemistry* 8. Elsevier – Pergamon, Oxford.

Sandlund, O.T., Bergan, M.A., Brabrand, A., Diserud, O.H., Fjeldstad, H., Gausen, D., Halleraker, J.H., Haugen, T., Hegge, O., Helland, I.P., Hesthagen, T., Nost, T. & Pulg, U. (2013). Vannforskriften og fisk – forslag til klassifiseringssystem. Miljødirektoratet, Rapport M22-2013. 59 bls.

Sigurður H. Magnússon & Kristbjörn Egilsson (2008). Gróðurbreytingar við Lagarfljót 1976–2004. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-08002. 97 bls.

Søndergaard, M., Johansson, L.S., Olesen, A. & Levi, E. (2019). Anvendelsen af hydromorfologiske kvalitetselementer til understøttelse af økologisk tilstandsvurdering i søer. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, nr. 317. Institut for Bioscience, Aarhus Universitet. 48 bls.

Turunen, J. & Hellsten, S. (2022). Lake HyMo-assessment in Finland. Erindi á *Nordic WFD conference*. Reykjavík, 31.8.2022.

Umhverfisstofnun (2022). Vatnaáætlun Íslands 2022–2027. 68 bls. [http://vatn.is/library/sida/haf-og-vatn/Vatna%20a%20a6tlun%202022-2027%20-%20Copy%20\(1\).pdf](http://vatn.is/library/sida/haf-og-vatn/Vatna%20a%20a6tlun%202022-2027%20-%20Copy%20(1).pdf).

WFD CIS (2003). Guidance document no. 10. River and lakes – Typology, reference conditions and classification systems. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. [https://circabc.europa.eu/sd/a/dce34c8d-6e3d-469a-a6f3-b733b829b691/Guidance%20No%2010%20-%20references%20conditions%20inland%20waters%20-%20REFCOND%20\(WG%202.3\).pdf](https://circabc.europa.eu/sd/a/dce34c8d-6e3d-469a-a6f3-b733b829b691/Guidance%20No%2010%20-%20references%20conditions%20inland%20waters%20-%20REFCOND%20(WG%202.3).pdf).

Zeiringer, B., Seliger, C., Greimel, F. & Schmutz, S. (2018). River hydrology, flow alteration, and environmental flow. Bls. 67–89 í: Schmutz, S. & Sendzimir, J. (ritstj.). *Riverine Ecosystem Management. Science for governing towards a sustainable future. Aquatic Ecology Series* 8. Springer Cham. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3>.

Zohary, T. & Ostrovsky, I. (2011). Ecological impacts of excessive water level fluctuations in stratified freshwater lakes. *Inland Waters*, 1:47–59. <https://doi.org/10.5268/IW-1.1.406>.

Viðauki I. Aðferðir við mat á vatnsformfræðilegum gæðapáttum í straumvötnum

A. Meðfram árfarvegi (langsníð)

- i. **Varnargarðar (flóð- og rofvarnir) (breyttur matspáttur miðað við skýrslu um manngerð og mikið breytt vatnshlot (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020)).** Varnargarðar valda hindrun á náttúrulegum ferlum í árfarvegum og hafa áhrif á tengsl árinna við flóðsléttu. Flóðavarnir eru hærri en náttúrulegur farvegur vatnsfallsins, hindra að vatn geti farið inn á ákveðin svæði og takmarka þannig útbreiðslu árinna, og hindrar náttúruleg tengsl hennar við aðliggjandi landvistkerfi. Rofvarnir eru skilgreindar sem manngerðar varnir lægri en náttúruleg hæð árbakka og hafa áhrif á mótun árfarvegar án þess að hindra samskipti við flóðsléttu í flóðum. Flóð- og rofvarnir valda röskun á náttúrulegri þróun og viðhaldi árfarvegar, breytingar verða á eiginleikum vatnshlotsins og áhrifa gætir á náttúrulegri flóðsléttu. Mat á áhrifum varnargarða skal gera út frá hlutfalli á lengd varnargarða miðað við lengd viðkomandi vatnshlots. Upplýsingar um staðsetningu varnargarða er hægt að nálgast í kortagrunnum Vegagerðarinnar og Landgræðslunnar (Gerður Stefánsdóttir o.fl., 2021). Einkunnagjöf miðast við sameinaða einkunn fyrir flóðvarnir og rofvarnir sem notuð hefur verið í Noregi (Harby o.fl., 2020). Náttúrulegar aðstæður miðast við að lengd varnargarða sé minni en sem nemur 10% af heildarlengd vatnshlotsins.

B. Þvert á árfarveg (þversníð)

- i. **Áhrif hindrana í farvegi (hindrunarvísir) (*n. barrier effekt*)** (óbreytt miðað við skýrslu um manngerð og mikið breytt vatnshlot (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020)). Stíflun vatnsfalls eða önnur sambærileg hindrun hefur einkum áhrif á fiskgöngur og far ýmissa annarra lífvera upp og niður árfarveg (Sandlund o.fl., 2013). Sömuleiðis breytast vatnsformfræðilegar aðstæður sem geta breytt flutningi á lífverum og ögnum og geta haft áhrif á margvíslega efnafræðilega þætti vatnsins. Matspátturinn sem notaður er til að meta áhrif hindrana í árfarvegi er tekinn upp frá Norðmönnum og er táknaður með BE (barrier effekt). Það er mælikvarði á hversu stór hluti vatnsfalls er í takmörkuðum samskiptum við aðra hluta vatnsfallsins vegna mannlegra inngripa og er byggður á lengd farvegar frá ósi upp að fyrstu hindrun/stíflu (L_{rest}) miðað við heildarlengd vatnsfallsins (L). Áhrif hindrana í farvegi vatnsfalls eru reiknuð samkvæmt eftirfarandi jöfnu:

$$BE = 1 - (L_{rest}/L)$$

- ii. **Uppskipting vatnshlots (uppskiptingarstuðull) (*n. fragmenteringsgrad*)** (óbreytt miðað við skýrslu um manngerð og mikið breytt vatnshlot (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020)). Endurtekið rof á náttúrulegum rennslisáttum vegna inngripa hefur áhrif á vatnsformfræðileg einkenni vatnsfalls og ferli sem stýrast af þeim. Með vísinum FG er tilgreint umfang á uppskiptingu árfarvegar vegna fjölda manngerðra hindrana eða stíflna (N) miðað við heildarlengd náttúrulega vatnsfallsins (L) (Sandlund o.fl., 2013). Uppskipting vatnsfalls er reiknuð samkvæmt eftirfarandi jöfnu:

$$FG = 1 - \frac{L}{(N+1)L} = \frac{1}{N+1}$$

- iii. **Áhrif stíflu á vatnshlot ofar á vatnasviðinu** (n. opstuvingseffekt) (**breyttur** matsþáttur miðað við skýrslu um manngerð og mikið breytt vatnshlot (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020)). Stíflur, hindranir og þveranir sem breyta rennslismynstri vatnsfalls úr straumvatnshloti í stöðuvatnshlot hafa mótandi áhrif á vistkerfi ofan við inngripið og breytast þá búsvæðin í samræmi við það. Slíkt ástand getur verið frá nokkrum metrum upp í marga kílómetra ofan við stífluna. Almennit má segja að eftir því sem lónið er stærra verða afleiðingar þessa umfangsmeiri. Matsþættinum er ætlað að leggja mat á hvaða áhrif stíflur/hindranir hafa á vatnshlot ofan stíflu. Við mat á áhrifum uppistöðulóna er reiknuð hlutfallsleg lengd vatnshlots miðað við fjarlægð frá efsta hluta vatnshlotsins að næstu stíflu neðan við viðkomandi vatnshlot.

Dæmi um útreikning á mati á áhrifum uppskiptingar á vatnshloti ofan stíflu.

Þjórsá 3:

Lengd Þjórsár 3: 6,3 km

Fjarlægð frá efsta hluta Þjórsár 3 að Sultartangastíflu: 20 km

$$\text{Áhrif stíflu á Þjórsá 3} = \frac{(20 - 6,3) \text{ km}}{20 \text{ km}} * 100 = 68,8\%$$

Samkvæmt þessu þá eru 68,8% af farvegum frá efsta hluta Þjórsár 3 að Sultartangastíflu undir áhrifum af stíflunni. Einkunnin byggir á því hve stór hluti vatnshlotsins er undir áhrifum af stíflunni. Þjórsá 3 fær 2 í einkunn (mikil áhrif) fyrir þennan matsþátt.

- iv. **Áhrif stíflu á vatnshlot sem er neðar á vatnasviðinu** (n. *fragmentering og barrier opströms*) (**breyttur** matsþáttur miðað við skýrslu um manngerð og mikið breytt vatnshlot (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020)). Stíflur og hindranir í farvegi hafa áhrif á vatnshlot neðan við viðkomandi hindrun, m.a. á samfellu straumvatns, rennsli og framburð sets, næringarefna og lífræns efnis. Tilgangurinn með matsþættinum er að meta áhrif stíflu á vatnshlot sem eru neðan við stíflu. Matið er gert með því að afla upplýsinga um fjarlægð stíflu frá neðsta hluta straumvatnshlots. Vatnshlotið telst náttúrulegt ef engar stíflur eru í farveginum (5 stig). Ef meira en 50 km eru í fyrstu stífluna telst stíflan hafa lítil áhrif á vatnshlotið neðan við (Harby o.fl., 2020). Áhrifin aukast eftir því sem fjarlægðin í næstu stíflu minnkar.

C. Í árfarveginum

- i. **Mannvirki önnur en stíflur** (**óbreyttur** matsþáttur miðað við skýrslu um manngerð og mikið breytt vatnshlot (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020)). Brýr og ræsi eru meðal þeirra mannvirkja sem falla í þennan flokk og geta haft áhrif á samfellu árinna með tilliti til straumfræði, setflutninga og eðlilegt far lífvera milli vatnshlota s.s. göngu fiska. Mannvirki s.s. brýr og ræsi geta haft áhrif á vatnsformfræðilegar aðstæður með því að afmarka og þrengja farveg straumvatna og hafa þannig áhrif á setferla og náttúrulega

framvindu þeirra. Matið byggir á lengd áhrifasvæðis af mannvirkjunum sem fall af lengd farvegar.

D. Rennslishættir

- i. **Heildarrennsli á ársgrundvelli** (óbreyttur matspáttur miðað við skýrslu um manngerð og mikið breytt vatnshlot (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020)). Vatnsmagn og rennsli straumvatna stjórna því hve stór hluti farvega er undir vatni sem aftur á móti hefur áhrif á búsvæði þeirra og vistkerfi. Matspátturinn er reiknaður út frá hlutfallslegri breytingu á ársmeðalrennsli eftir virkjun miðað við óraskað ársmeðalrennsli árinna.
- ii. **Lágrennsli** (óbreyttur matspáttur miðað við skýrslu um manngerð og mikið breytt vatnshlot (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020)). Rennslisstjórnun, t.d. í tengslum við raforkuframleiðslu, og önnur nýting vatns hefur margvísleg áhrif á rennslishætti vatnsfalls. Miðlun og jöfnun rennslis leiðir af sér að það dregur úr hámarksrennsli en eykur lágrennsli. Lágrennsli að sumri og/eða vetri eru oft á tíðum þeir vatnsformfræðilegu þættir sem eru takmarkandi fyrir vistkerfi í straumvatni. Við mat á þessum þætti var skoðað hlutfall á sjö daga lágrennsli straumvatns að sumri og að vetri miðað við sambærilegar upplýsingar við óraskað rennsli.
- iii. **Stærð og tíðni flóða** (óbreyttur matspáttur miðað við skýrslu um manngerð og mikið breytt vatnshlot (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020)). Miðlun og rennslisstjórnun breyta stærð flóða, tíðni þeirra og hversu lengi þau vara. Breytingar á þessu hafa áhrif á eðli og eiginleika straumvatna og viðhaldi á búsvæðum vatnalífvera. Til þess að hægt sé að meta þetta er nauðsynlegt að hafa tímaraðir með rennslisgildum og er öryggi gagnanna háð tímalengd þeirra. Matspátturinn byggir á upplýsingum um tíðni flóða fyrir og eftir breytingar á vatnshloti. Einkunnagjöf miðar við tíðni flóða í vatnshloti sem eru af þeirri stærð sem búast mætti við á 1 árs og 10 ára fresti við náttúrulegar aðstæður. Algengt er að miðlun á vatni á vatnasviðum valdi því að tíðni flóða minnkar og miðar einkunnagjöf matspáttarins að því. Ekki er lagt mat á aukna tíðni flóða í þessum matsþætti.
- iv. **Dægursveiflur/skammtímabreytingar** (e. *hydro-peaking*) í rennsli og vatnsstöðu. Í sumum vatnshlotum er breytileiki rennslis það ör að nauðsynlegt er að skoða breytingar út frá mjög fínri upplausn á rennslisgögnum (10–15 mín). Svo örar rennslisbreytingar verða einkum vegna vatnsaflsvirkjana þegar verið er að svara breytilegri þörf notenda á rafmagni. Áhrifa af dægursveiflum er einkum að vænta í virkjuðum lindám hér á landi þar sem lífríki er aðlagð að jöfnu rennsli lindánna. Matspátturinn byggir á upplýsingum um hlutfall há- og lágrennslis, hraða vatnshæðarbreytinga í farvegi og þurrkun farvegar vegna rennslisbreytinga.

E. Svifaursbreytingar

- i. **Framburður svifaurs** (óbreyttur matspáttur miðað við skýrslu um manngerð og mikið breytt vatnshlot (Katrín Sóley Bjarnadóttir o.fl., 2020)). Stærstu vatnsaflsvirkjanir landsins byggja að meginhluta til á jökulám. Framburður svifaurs til sjávar hefur m.a. áhrif á eiginleika vatnsins, sjóndýpi, eiginleika farvegarins og landmótun við ósa. Í ljósi þessa var settur fram matspáttur sem tekur á beinum áhrifum framkvæmda á framburð svifaurs með jökulám. Að jafnaði minnkar svifaur í straumvatni vegna virkjanaframkvæmda þar sem

svifaur sest til í lónum á virkjanasvæðinu. Svifaursaukning er ekki eins algeng í tengslum við virkjunarframkvæmdir. Matsþátturinn byggir á upplýsingum um aurframburð fyrir og eftir virkjanir og samanburð á þeim. Matsþátturinn var þróaður fyrir vatnshlot þar sem framburður svifaurs hefur minnkað af mannavöldum. Áhrif af svifaursaukningu vegna framkvæmda voru metin með sérfræðialiti.

Viðauki II. Aðferðir við mat á vatnsformfræðilegum gæðapáttum í stöðuvötnum

A. Vatnsbúskapur

- i. **Árlegt innrennsli.** Metin er breyting á árlegu innrennsli miðað við óraskaðar aðstæður þar sem lagt er mat á tilflutning vatns milli vatnasviða vegna mannlegrar íhlutunar/stjórnunar. Í þessum matsþætti er gert ráð fyrir því að árlegt innrennsli breytist vegna færslu vatns milli vatnasviða vegna vatnsstjórnunar (e. *water regulation*). Útreikningar byggja á því að reikna út flatarmál þeirra hlutvatnasviða sem flutt eru af (A_o) og inn á (A_i) náttúrulegt eða upphaflegt vatnasvið stöðuvatnsins sem um ræðir. Með því að nota skilgreininguna stærð hlutvatnasviðs er gert ráð fyrir því að árlegt afrennsli af hverju hlutvatnasviði sé í réttu hlutfalli við stærð þess. Þannig er breyting á árlegu innrennsli metin með því að reikna heildarstærð hlutvatnasviða sem eru færð inn á vatnasviðið og stærð þeirra hlutvatnasviða sem færð eru út af vatnasviðinu dregin frá og útkoman borin saman við upphaflega stærð vatnasviðsins.

Flutt vatnasvið (A_T) er því mat á breytingu á árlegu innrennsli og er reiknað út frá jöfnunni:

$$A_T = \frac{\sum_{i=1}^n A_{Ii} - \sum_{i=1}^n A_{Oi}}{A_c} * 100$$

A_T : Flutt vatnasvið (%)

A_i : Stærð hlutvatnasviðs sem fært er inn á nýtt vatnasvið [km^2]

A_o : Stærð hlutvatnasviðs sem fjarlægt er úr vatnasviði [km^2]

A_c : Upphafleg stærð vatnasviðsins [km^2]

Ef breytingar eru undir 20% flokkast ástand vatnshlotsins því sem næst náttúrulegt, en ef þær eru meiri en 50% er talið að vatnshlot sé mikið breytt.

- ii. **Breytingar á vatnsstöðu.** Reiknaður er munur á hæstu stýrðu vatnsstöðu (HRWL) og lægstu stýrðu vatnsstöðu (LRWL), mælt í metrum. Miðað er við að ef breytingin er minni en 3 m sé vatnið því sem næst náttúrulegt, en ef hún er meiri en 10 metrar er um mikið breytt vatnshlot að ræða. Í þessu tilfelli er ekki miðað við vatnsstöðu fyrir virkjun og því um mælikvarða á umfangi stýringar að ræða.

- iii. **Heildar rúmmálsbreytingar.** Hlutfallsleg breyting á rúmmáli vatns borið saman við upphaflegt náttúrulegt ástand. Matsþátturinn er reiknaður á eftirfarandi hátt:

$$V_C = \frac{V_A - V_B}{V_B} * 100$$

V_C : Heildar rúmmálsbreyting [%]

V_A : Rúmmál eftir rennslisstýringu í hæstu forðastöðu [e. supply level] [milljón m^3]

V_B : Rúmmál fyrir rennslisstýringu [milljón m^3]

Um er að ræða mat á mismun á rúmmáli fyrir og eftir rennslisstýringu, sem hlutfall af heildar rúmmáli áður en stýring hófst. Breyting minni en 10% telst vera því sem næst náttúruleg, en ef breytingin fer yfir 30% er vatnshlotið flokkað sem mikið breytt.

- iv. **Viðstöðutími.** Um er að ræða hlutfallslega breytingu á viðstöðutíma stöðuvatna miðað við náttúrulegar aðstæður. Endurspeglar töf á afrennsli sem hefur áhrif á aðstæður í stöðuvatni/lóni og þannig rennsli neðar á vatnasviðinu. Til þess að reikna út viðstöðutíma þarf innrennsli og rýmd vatnsins að vera þekkt.
- v. **Hlutfallslegar vatnsborðssveiflur.** Hlutfallslegar vatnsborðssveiflur eru skilgreindar sem mismunur milli hæstu og lægstu vatnsstöðu deilt með meðaldýpi. Með þessum þætti er mögulegt að greina á milli áhrifa sambærilegrar stýringar eftir því hvort vatnið er grunnt eða djúpt. Ef breytingarnar eru undir 10% er talið að vatnið sé því sem næst náttúrulegt en yfir 20% er það mikið breytt. Þessi matsþáttur lýsir vægi rennslisstjórnunar.

B. Formfræði

- i. **Flatarmál sem fer á þurrt.** Þessi þáttur er skilgreindur sem það svæði sem fer á þurrt vegna rennslisstýringar og er reiknað út frá hæstu vatnsstöðu og lægstu vatnsstöðu. Útreikningar byggja á dýptarkortum af vatninu og lýsa hversu stórt flatarmál (varpað í lárétt yfirborð) fer á þurrt þegar vatnshæð fer úr hæstu í lægstu stöðu. Þetta gildi er ekki reiknað út frá aðstæðum fyrir stýringu heldur hvernig því er stjórnað og lýsir þessi matsþáttur þannig vægi stjórnunarinnar (e. *severity of the regulation*).
Til þess að leggja mat á þennan þátt er flatarmálið reiknað frá hæstu og lægstu stöðu út frá kortum. Niðurstöður sem eru lægri en 10% eru metnar sem því sem næst náttúrulegt ástand og hærri en 20% eru vatnshlotin metin sem mikið breytt. Stærð svæðis sem þornar upp getur haft mikil áhrif á vistfræði vatna sem sjónræn áhrif.
- ii. **Fjörusvæði sem fer á þurrt (littoral zone).** Þessi matsþáttur er notaður til að meta hversu stór hluti fjörusvæðisins (e. *littoral zone*) fer á þurrt vegna stjórnunar á vatnsstöðu. Efri mörk fjörusvæðis afmarkast af hæstu stýrðu vatnsstöðu (HRWL) og neðri mörk miðast við sjóndýpi (e. *secchi depth*) við HRWL. Til útreikninga þarf að vita flatarmál við hæstu vatnsstöðu, lægstu vatnsstöðu og neðri mörk fjörusvæðis. Útreikningar eru gerðir á eftirfarandi hátt:

$$L = \frac{A_H - A_L}{A_H - A_{Lit}} * 100$$

L : Fjörusvæði sem fer á þurrt [%]

A_H: Flatarmál vatns við hæstu vatnsstöðu HRWL [km²]

A_L: Flatarmál við lægstu vatnsstöðu LRWL [km²]

A_{Lit}: Flatarmál við neðri mörk fjörusvæðis [km²]

Fjörusvæði sem fer á þurrt hefur umtalsverð áhrif á það vistkerfi sem er til staðar sérstaklega ef litið er til bergvatnsvistkerfa þar sem gróður hefði við náttúrulegar aðstæður tækifæri til að þróast.

C. Samfella stöðuvatna/lóna

- i. **Hindranir ofan til á vatnasviði sem hafa áhrif á setferla.** Hlutfall svæða ofar í vatnasviði sem lokast vegna manngerðra hindrana miðað við náttúrulegar aðstæður. Markmið þessa

matsþáttar er að greina hvort manngerðar hindranir takmarka flutning sets. Til þess að meta þennan þátt er skoðað hvort stíflur eru til staðar ofan til á vatnasviði stöðuvatnsins sem hindra tengsl milli búsvæða. Talið er að allar stíflur séu hindranir þó að til staðar séu fiskfarvegir sem gera far fiska mögulegt. Reiknað er hlutvatnasvið sem lokast af og borið saman við stærð vatnasviðsins í heild. Útreikningar byggja á eftirfarandi jöfnu:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n A_{Di}}{A_C} * 100$$

B: Hlutfall vatnasviðs undir áhrifum af hindrunum [%]

A_D: Flatamál hlutvatnasviðs afmarkað af hindrunum [km²]

A_C: Vatnasvið stöðvatns / lóns [km²]

Jafnan endurspeglar það hlutfall af vatnasviðinu sem er undir áhrifum af hindrunum. Því hærra sem hlutfallið er því stærra er áhrifasvæðið. Ef áhrifin eru 10% telst flokkunin því sem næst náttúruleg og yfir 50% er vatnshlotið flokkað sem mikið breytt.

Viðauki III. Flokkunarkerfi fyrir mat á vatnsformfræði straumvatna, að viðbættum matsþætti sem lagður er til í kafla 4.3

Gæðabáttur	Áhrifabáttur	Mörk flokka						
		Matsþáttur	Mælikvarði á breytingar	Náttúrulegt	Lítill áhrif	Nokkur áhrif	Mikil áhrif	Mjög mikil áhrif
		Einkunnagjöf		5	4	3	2	1
Samfella ár	A	Varnargarðar	Hversu stór hluti árinna? (%)	<10	10–30	30–65	65–80	>80
		Niðurgröftur árinna***	Meðaldýpkun farvegarins sem áin hefur grafið sig (m)	<0,5		0,5–1,0		>1,5
	B	Stíflur í farvegi	Barriereffect (Sandlund o.fl., 2013)	<0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–0,8	>0,8
		Uppskipting farvegar	Fragmenteringsgrad (Sandlund o.fl., 2013)	<0,5	0,5–0,65	0,65–0,8	0,8–0,83	>0,83
		Lónaáhrif	Hlutfall farvegar ofan stíflu undir áhrifum af stíflu	<10	10–30	30–50	50–80	>80
		Uppistöðuáhrif	Fjarlægð að fyrstu hindrun (km)	Engin hindrun	>50 km	10–50 km	2–10 km	<2 km
C	Mannvirki önnur en stíflur *	Hversu stór hluti árinna er undir áhrifum? (%)	<5	5–33	33–50	50–80	>80	
E	Svifausbreytingar **	Hlutfallsleg minnkun svifaurs	<10	10–25	25–50	50–80	>80	
Vatnsbúskapur/Rennslisbreytingar	D1	Heildarrennsli	Breyting á heildarrennsli (%)	<15	15–30	30–50	50–95	>95
		Lágrennsli sumar	7 daga lágrennsli jún–sept (miðað við óbreytt) (%)	<10	10–20	20–40	40–60	>60
		Lágrennsli vetur	7 daga lágrennsli nóv–mars (miðað við óbreytt) (%)	<5	5–10	10–30	30–50	>50
	D2	Tíðni 1 árs flóða	Breyting á endurkomuhlutfalli	engin breyting		5–10 ár	sjaldnar en á 10 ára fresti	
		Tíðni 10 ára flóða	Breyting á endurkomuhlutfalli	ekki sjaldnar en á 15 ára fresti		15–30 ár	sjaldnar en á 30 ára fresti	
		Skammtíma rennslisbreytingar (peaking) *	Hlutföll á milli há- og lágrennslis	<1,5	1,5–3	3–5	5–10	>10
	Hraði rennslisbreytinga *	Lækkunarhraði (cm/klst.)	<5	5–13	13–20	20–30	>30	

* Á aðeins við um bergvatnsár. ** Á aðeins við um jökulár. ***Mörk flokka eru tekin óbreytt úr Harby o.fl. (2018).

Viðauki IV. Flokkunarkerfi fyrir mat á vatnsformfræði stöðuvatna, að viðbættum matsþætti sem lagður er til í kafla 4.3

Gæðapáttur	Matsþáttur	Mælikvarði	Mörk flokka				
			Mjög gott ástand	Gott ástand	Ekki viðunandi ástand	Slakt ástand	Lélegt ástand
	Einkunn		5	4	3	2	1
Vatnsbúskapur	Árlegt innrennsli	Breyting á árlegu innrennsli miðað við óraskaðar aðstæður (%)	<5	5–20	20–50	50–90	>90
	Breytingar á vatnsstöðu	Munur á hæstu og lægstu stýrðu vatnsstöðu (HRWL - LRWL) (m)	<2	2–3	3–10	10–50	>50
	Heildar rúmmálsbreytingar	Hlutfallsleg breyting á rúmmáli vatns borið saman við náttúrulegar aðstæður (%)	<5	5–10	10–30	30–70	>70
	Viðstöðutími ¹	Hlutfallsleg breyting á viðstöðutíma vatns miðað við náttúrulegar aðstæður (%)	<5	5–20	20–50	50–100	>100
	Vatnsstöðubreytingar við hæstu vatnsstöðu	Hlutfallsleg breyting á hæstu vatnsstöðu gefin sem mismunur milli náttúrulegrar vatnsstöðu og raunverulegrar vatnsstöðu á viðkomandi degi (%)	<5	5–10	10–30	30–70	>70
	Vatnsstöðubreytingar við lægstu vatnsstöðu	Hlutfallsleg breyting lægstu vatnsstöðu gefin sem mismunur milli náttúrulegrar vatnsstöðu og raunverulegrar vatnsstöðu á viðkomandi viku (%)	<5	5–10	10–30	30–70	>70
Formfræði ²	Flatarmál sem fer á þurrt	Flatarmál sem fer á þurrt miðað við lægstu og hæstu stöðu, mælt lárétt (%)	<5	5–10	10–40	40–90	>90
	Fjörusvæði sem fara á þurrt (littoral zone)	Hlutfall fjörusvæðis sem verður fyrir áhrifum að vatnsstöðu/rennslistjórnun. Lárétt mæling (%)	<5	5–10	10–40	40–90	>90
Samfella ³	Hindranir ofan til á vatnasviði sem hindra setferla	Hlutfall svæða ofar í vatnasviði sem lokast vegna manngerðra hindrana miðað við aðstæður án inngripa (encroachment) (%)	<5	5–10	10–50	50–90	>90
	Aukning á svifaur	Aukning á svifaur vegna tilfærslu jökuláa	Engin aukning		Gruggugu vatni veitt í minna gruggugt vatn	Gruggugu jökulvatni veitt í bergvatn	

¹ Matsþátturinn viðstöðutími á aðeins við um bergvötn

² Gæðapátturinn formfræði á aðeins við um bergvötn

³ Gæðapátturinn samfella á aðeins við um jökulvötn