

HV 2023-30
ISSN 2298-9137



HAF- OG VATNARANNSÓKNIR

MARINE AND FRESHWATER RESEARCH IN ICELAND



Lífríki og vistfræðilegt ástand í Grafarlæk

*Iris Hansen, Eydís Salome Eiríksdóttir,
Friðbjófur Árnason og Eydís Heiða Njarðardóttir*

HAFNARFJÖRÐUR – SEPTEMBER 2023

Lífriki og vistfræðilegt ástand í Grafarlæk

*Iris Hansen, Eydís Salome Eiríksdóttir,
Friðþjófur Árnason og Eydís Heiða Njarðardóttir*

Titill: Lífríki og vistfræðilegt ástand í Grafarlæk		
Höfundar: Iris Hansen, Eydís Salome Eiríksdóttir, Friðþjófur Árnason og Eydís Heiða Njarðardóttir		
Skýrsla nr. HV 2023-30	Verkefnisstjóri: Iris Hansen	Verknúmer: 16234
ISSN 2298-9137	Fjöldi síðna: 27	Útgáfudagur: 26. september 2023
Unnið fyrir: Ráðgjafafyrirtækið Alta	Dreifing: Opin	Yfirið af: Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir
<p>Ágrip</p> <p>Í september 2022 gerði Hafrannsóknastofnun rannsókn á efnasamsetningu og lífríki í Grafarlæk sem unnin var fyrir ráðgjafafyrirtækið Alta. Rannsóknin var fjölþætt og náði til fiska, botnlægra hryggleysingja, þörungna og efnasamsetningu vatnsins í Grafarlæk. Rannsóknin sýndi að vistkerfið í Grafarlæk er óvenjulegt og víkur töluvert frá því sem búast mætti við í óröskuðu straumvatni á Íslandi. Efnastyrkur og lífmassi þörungna var hár, fábreytni var áberandi í tegundum/hópum þörungna og smádýra og þar fundust einungis flundra og regnbogasilungur, báðar tegundirnar eru tiltölulega nýjar í íslenski náttúru og þar af hefur önnur líklegast sloppið úr eldistjörn ofar á vatnasviðinu. Vistfræðileg ástandsflokkun byggð á niðurstöðum rannsóknarinnar bendir til þess að Grafarlækur sé í <i>ekki viðunandi ástandi</i> eins og það er skilgreint í lögum um stjórn vatnamála nr. 36/2011.</p> <p>Abstract</p> <p><i>In September 2022, the Marine and Freshwater Research Institute conducted a study on riverine chemical composition and biology in Grafarlækur, a small creek in Reykjavík. The work was done for Alta consulting company. The research was a comprehensive study of fish, benthic invertebrates, algae, and water chemistry. The results of the study show that the ecosystem in the creek is unusual and deviates considerably from what would be expected in an undisturbed stream in Iceland. Concentrations of dissolved elements in the water was high and so was algal biomass. Diversity of species/groups of algae and invertebrates was low and only flounder and rainbow trout were found, of which both are fish species which are relatively new in Icelandic nature and one of them has most likely escaped from a fish farming pond which is on the watershed above the study area. The results indicate a moderate ecological status of Grafarlækur according to the European Water Framework Directive.</i></p>		
<p>Lykilorð: Þörungar, hryggleysingjar, regnbogasilungur, flundra, efnasamsetning vatns, líffræðilegir gæðapættir, eðlisefnafræðilegir gæðapættir, stjórn vatnamála, vatnatilskipun. <i>Algae, invertebrates, rainbow trout, flounder, riverine chemical composition, biological quality elements, physico-chemical quality elements, Water Framework Directive.</i></p>		
Undirskrift verkefnisstjóra:		Undirskrift forstöðumanns sviðs:
		

Efnisyfirlit

1 Inngangur	1
2 Staðhættir.....	1
3 Aðferðir.....	5
3.1 Mælingar á eðlis- og efnaþáttum auk mælinga á svifögnum í útfalli.....	5
3.1.1 Söfnun og mælingar á eðlisefnafræðilegum þáttum.....	5
3.1.2 Sýnasöfnun og mælingar á lífrænum og ólífrænum svifögnum	5
3.2 Frumframleiðendur	6
3.2.1 Blaðgræna a	6
3.2.2 Þörungar.....	6
3.3 Hryggleysingjar	8
3.4 Fiskur.....	9
4 Niðurstöður	10
4.1 Eðlis- og efnaþættir	10
4.2 Frumframleiðendur í vatnsbol	13
4.2.1 Blaðgræna a	13
4.2.2 Þörungar.....	13
4.3 Hryggleysingjar á botni	16
4.4 Fiskur.....	18
5 Ástandsflokkun Grafarlækjar	19
6 Umræður	21
Þakkir	24
Heimildir	25

Töfluskra

Tafla 1. Yfirlit yfir staðsetningu rannsóknarstöðva fyrir hvern verkþátt rannsóknarinnar.....	2
Tafla 2. Niðurstöður mælinga á eðlis- og efnafræðilegum mælipáttum í Grafarlæk	12
Tafla 3. Kísilþörungur, þéttleiki, fjöldi tegunda, Shannon fjölbreytileiki og jafndreifni	14
Tafla 4. Tegundir kísilþörungur og tegundahópar á tveimur sýnatökustöðvum í Grafarlæk	15
Tafla 5. Hryggleysingar, fjöldi tegunda, Shannon fjölbreytileiki og jafndreifni.....	16
Tafla 6. Meðalþéttleiki hópa- og tegunda hryggleysingja á botni Grafarlækjar	17
Tafla 7. Stærð rafveiðistöðva, GPS-hnit, fjöldi fiska og vísitala á þéttleika regnbogasilungs og flundru	18
Tafla 8. Ástandsflokkun Grafarlækjar miðað við rannsókn á líffræðilegum og eðlisefnafræðilegum gæðapáttum.....	20

Myndaskra

Mynd 1. Yfirlitsmynd yfir Grafarlæk og nágrenni.....	2
Mynd 2. Grafarlækur stöð 1 þar sem vatnsefnasýni var safnað	3
Mynd 3. Grafarlækur stöðvar 2a og 2b	3
Mynd 4. Söfnunarstaður 2a fyrir og eftir hádegi þann 5. september 2022.....	4
Mynd 5. Grafarlækur stöðvar 3a og 3b	4
Mynd 6 a-b. Blágræna a mæld með BenthosTorch flúrmæli í Grafarlæk	13
Mynd 7. Tegundir og tegundahópar kísilþörungur sem fundust á steinum í Grafarlæk.....	13
Mynd 8. Hryggleysingar á botni Grafarlækjar á sýnatökustöðvum 2a og 3a.....	16
Mynd 9. Lengdardreifing flundru sem veiddist í Grafarlæk	18
Mynd 10. Regnbogasilungur sem veiddist í Grafarlæk	19
Mynd 11. Uppspretta Grafarlækjar í Bullaugum á golfvællinum í Grafarholti	21

1 Inngangur

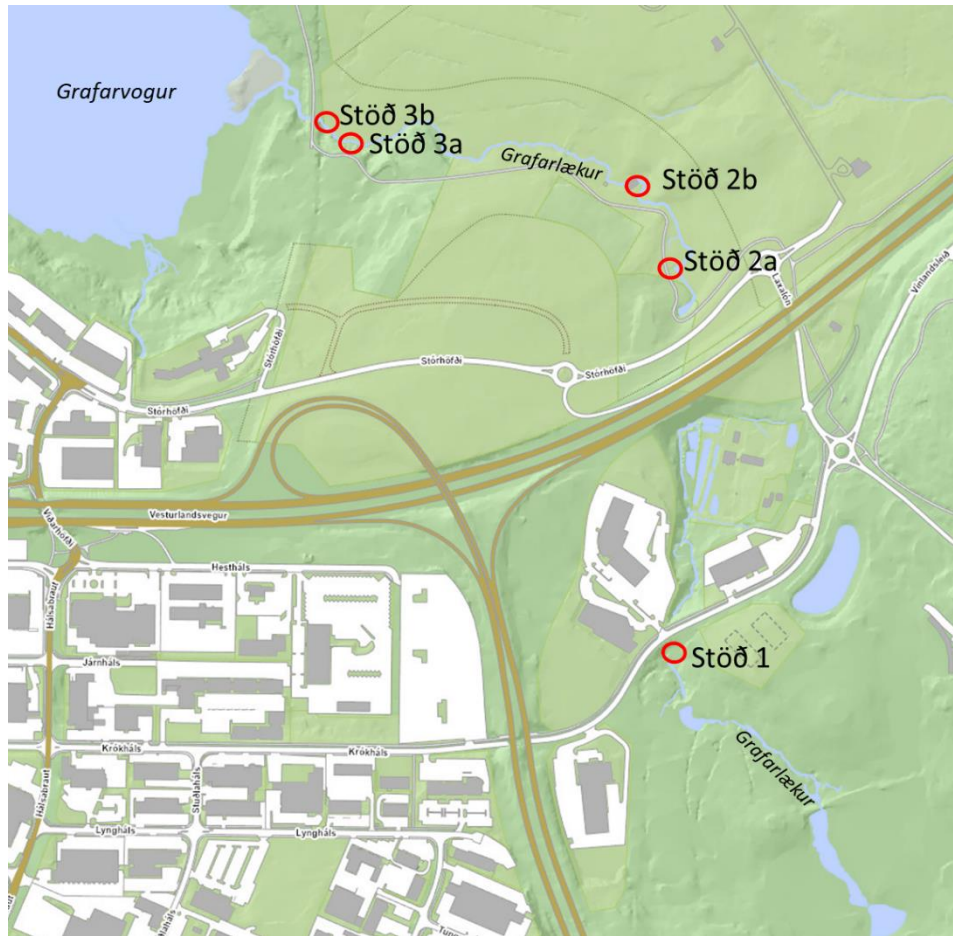
Í september 2022 gerði Hafrannsóknastofnun rannsókn á efnasamsetningu og lífríki í Grafarlæk sem rennur til sjávar í Grafarvogi. Rannsóknin var unnin fyrir ráðgjafafyrirtækið Alta vegna mats á áhrifum uppbyggingar á Keldnalandi á lífríki í Grafarlæk. Rannsóknin var fjölþætt og náði til fiska, botnlægra hryggleysingja, þörunga og efnasamsetningu vatnsins í Grafarlæk. Ekki eru til heimildir um að lífríki eða eðlisefnafræði lækjarins hafi verið skoðað áður. Markmið rannsóknarinnar var að afla grunnupplýsinga um þessa þætti sem greina ástand Grafarlækjar eins og það er í dag. Niðurstöðurnar nýtast m.a. til að meta vistfræðilegt ástand Grafarlækjar eins og það er skilgreint samkvæmt lögum um stjórn vatnamála nr. 36/2011.

2 Staðhættir

Grafarlækur er lítill lækur sem á upptök sín í lindum þar sem nú er golfvöllurinn í Grafarholti. Lækurinn rennur um golfvöllinn, undir Vesturlandsveg og til sjávar innst í Grafarvogi. Á svæðinu við og fyrir ofan Vesturlandsveg hefur farvegi og umhverfi lækjarins víða verið breytt mikið. Vegna framkvæmda við golfvöllinn var gerð fyrirstaða í farvegi lækjarins og þar eru nú nokkrar litlar tjarnir sem eru hluti af golfvellinum. Neðan golfvallarins rennur lækurinn í farvegi sínum tæplega 100 m áður en hann rennur um 140 m stökk undir Vesturlandsveg. Neðan við Vesturlandsveg er lækurinn um 800 m langur og líklega í sínum upprunalega farvegi.

Við Grafarlæk, rétt ofan við Vesturlandsveg, er starfrækt fiskeldi í opnum tjörnum þar sem eldi á regnbogasilungi fer fram. Starfsleyfi eldisstöðvarinnar tekur til eldis með 15 tonna hámarkslífmassa á hverjum tíma og að hámarki 15 tonna ársfamleiðslu á regnbogasilungi. Í fiskeldinu er notað vatn úr borholum sem eru staðsettar við stöðina. Fyrsti viðtaki vatns frá eldisstöðinni er Grafarlækur og í starfsleyfi stöðvarinnar eru skilyrði um vöktun á efnum sem frá stöðinni renna og viðbragðsáætlun ef styrkur ákveðinna efna fer upp fyrir viðmiðunarmörk. Ekki liggur fyrir hvort vöktun á efnum, sem starfsleyfið gerir kröfu um, hafi farið fram nýlega en í úttekt Umhverfisstofnunar var gerð athugasemd við að þær upplýsingar vantaði (Umhverfisstofnun, 2019). Eldisstöðin er með starfsleyfi til ársins 2037.

Viðstaða vatnsins í Grafarlæk á efri hluta vatnasviðsins hefur aukist vegna breytinga á farveginum og þar eru töluverð umsvif. Aukin viðstaða vatnsins veldur því að vatnið er viðkvæmara fyrir mögulegri mengun þar sem það rennur hægar um vatnasviðið en fyrir framkvæmdir.

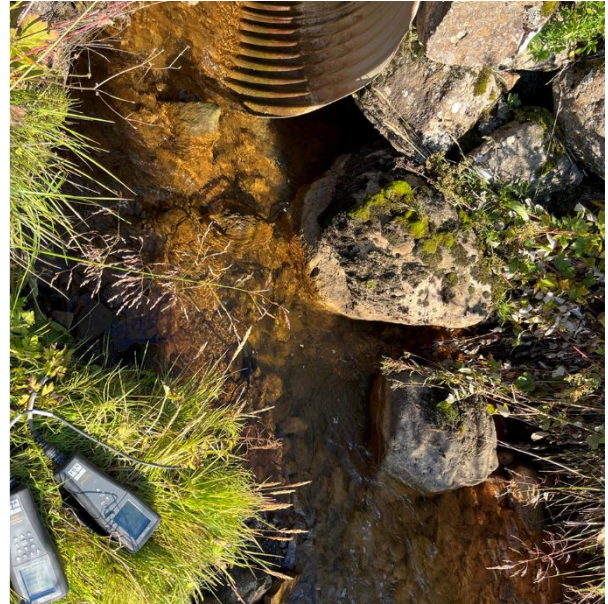


Mynd 1. Yfirlitsmynd yfir Grafarlæk og nágrenni. Rannsóknarstöðvarnar eru táknaðar með rauðum hring. Yfirlit yfir hvaða verkþættir voru framkvæmdir á hverri stöð eru í töflu 1. Myndin er fengin á Borgarvefsjá, 17.4.2023.

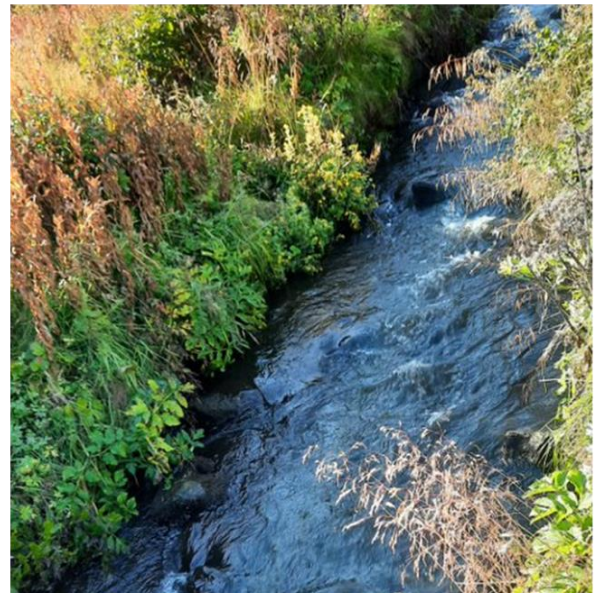
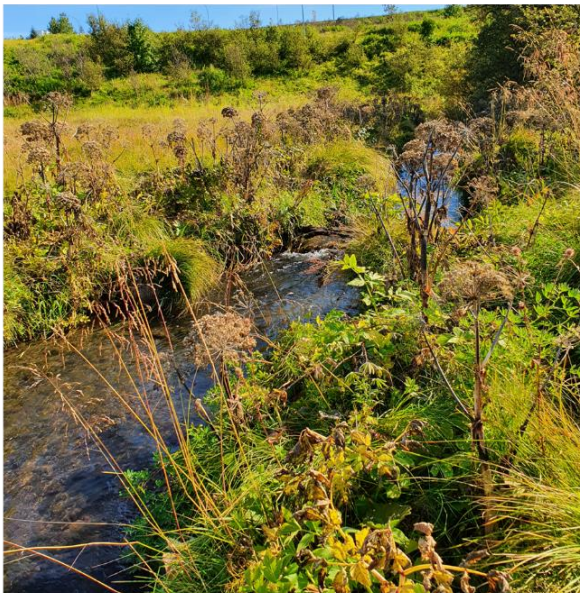
Sýnum var safnað á nokkrum stöðum í farvegi Grafarlækjar og eru staðsetningar þeirra sýndar á mynd 1. Efsta sýnatökustöðin var staðsett ofan við veginn um Krókháls (stöð 1), ofan við áhrifasvæði fiskeldisins í Laxalóni. Þar var aðeins safnað vatnssýni til efnamælinga. Önnur sýnatökustöðin var neðan við Vesturlandsveg og var hún tvískipt (stöðvar 2a og 2b) til að auðvelda margþætta söfnun á efna- og lífríkispáttum sem þar fór fram. Neðsta stöðin, sem var við göngubrú ofan ósa í Grafarvogi, var einnig tvískipt af sömu ástæðum (stöð 3a og 3b). Í töflu 1 er yfirlit yfir einstaka rannsóknarþætti og upplýsingar um hvað var gert á hverri stöð.

Tafla 1. Yfirlit yfir staðsetningu rannsóknarstöðva fyrir hvern verkþátt rannsóknarinnar – sjá mynd 1

	Stöð 1	Stöð 2a	Stöð 2b	Stöð 3a	Stöð 3b
Hnit	64,12288°N 21,77994°V	64,12747°N 21,78002°V	64,12852°N 21,78129°V	64,128993°N 21,789531°V	64,12907°N 21,78989°V
Eðlis- og efnaþættir	x	x		x	
Blaðgræna <i>a</i>		x			x
Þörungar		x		x	
Hryggleysingar		x		x	
Fiskar			x		x



Mynd 2. Grafarlækur stöð 1 þar sem vatnsefnasýni var safnað. Lækurinn rennur um golfvöllinn í Grafarholti (handan við aspartrén á myndinni t.v.), fer í ræsi sem leiðir vatnið undir Krókháls, framhjá Laxalóni, um annað ræsi undir Vesturlandsveg. Stöð 1 er staðsett ofan við ræsið undir Krókháls. Ljósmynd: ESE



Mynd 3. Grafarlækur stöðvar 2a og 2b. Þörungum og hryggleysingjum var safnað á stöð 2a og fiskrannsókn var gerð á stöð 2b. Ljósmynd IH (t.v.)/FÁ (t.h.)

Þegar fyrst var komið á stöð 2, fyrir hádegi 5. september, var lækurinn mjög gruggugur. Það var ólíkt því sem var á stöð 1. Þar var sýnum safnað af vatni, hryggleysingjum og þörungum auk þess sem blaðgræna var mæld. Rafveitt var á stöð 2b. Eftir sýnatökuna var gerð athugun á því hvaðan aurinn barst. Kom í ljós að starfsmenn Laxalóns voru að hreinsa farveg Grafarlækjar ofan Vesturlandsvegar. Aurinn hafði borist niður lækinn eftir vindasaman tíma sem ríkti dagana á undan og stoppað við ræsið. Eftir hádegi hafði lækurinn hreinsað sig, var þá ákveðið að safna nýju efnasýni til samanburðar við það sem áður hafði verið safnað (Mynd 4).



Mynd 4. Söfnunarstaður 2a fyrir og eftir hádegi þann 5. september 2022. Myndin t.v. var tekin fyrir hádegi og þá var lækurinn töluvert gruggugur vegna skolunar aurs úr farveginum ofan við Vesturlandsveg (við Laxalón). Aurinn berst niður farveginn en stoppar við ræsið sem liggur undir veginn. Myndin t.h. var tekin fljótlega eftir hádegi sama dag þegar hreinsun lónsins var lokið og þá var lækurinn orðinn svo til tær. Innfelledu myndirnar tvær eru af síum sem notaðar voru til að sía sýni sem safnað var við þessar mismunandi aðstæður. Ljósmyndir: ESE.



Mynd 5. Grafarlækur stöðvar 3a og 3b. Þörungum og hryggleysingjum var safnað á stöð 3a (mynd t.h.) og fiskrannsókn og blaðgrænumælingar voru gerðar á stöð 3b (mynd t.v.). Ljósmyndir: IH.

3 Aðferðir

3.1 Mælingar á eðlis- og efnaþáttum auk mælinga á svifögnum í útfalli

3.1.1 Söfnun og mælingar á eðlisefnafræðilegum þáttum

Sýnum til mælinga á uppleystum efnum var safnað á þremur stöðum í Grafarlæk 5. september 2022 samkvæmt staðlaðri aðferð sem lýst hefur verið í leiðbeiningum um söfnun vatnsefnasýna (Eydís Salome Eiríksdóttir, 2022). Alls var fjórum sýnum safnað til mælinga á uppleystum aðalefnum, snefilefnum og næringarefnum auk þess sem styrkur kolefnis í vatni var mældur. Einu sýni var safnað á stöðvum 1 og 3a en tveimur sýnum var safnað á stöð 2a þar sem árvatnið var mjög gruggugt í fyrri sýnatökunni vegna hreinsunar aurs af lónastæðum Laxalóns – sjá nánar í kafla 2.

Vatni var safnað beint í 5 lítra hreinan, ólitaðan plastbrúsa þar sem straumurinn var mestur. Brúsinn var skolaður þrisvar með vatninu fyrir söfnun. Vatnssýnin voru síuð á staðnum með því að dæla þeim í gegnum Sartorius síuhaldara sem í var Cellulose acetate sía, 142 mm að þvermáli með 0,2 μm möskvastærð. Notuð var peristaltísk dæla með sílikon slöngum frá Masterflex. Síað var í: 1) 250 ml brúna glerflösku fyrir alkalinity (basavirkni), 2) 100 ml ósýrupvegna HDPE plastflösku fyrir anjónir, 3) 200 ml HDPE ósýrupvegna plastflösku fyrir næringarefni og 4) 50 ml sýrupvegna HDPE plastflösku fyrir katjónir og snefilefni. Sett var 0,5 ml af hreinsaðri, fullsterkri saltpétursýru (HNO_3) í 4. flöskuna. Sýnum til mælinga á heildarstyrk lífræns kolefnis (TOC) var safnað ósíuðum í 30 ml glerglas og var sýnið sýrt með 0,3 ml af fullsterkri saltsýru (HCl).

Vatnshiti, leiðni og sýrustig (pH) var mælt samtímis sýnasöfnun með YSI Pro 1030 fjölnemamæli (mælingar staðlaðar miðað við 25°C) sem hafði verið kvarðaður með pH búfferum 4 og 7 og leiðnin var kvörðuð við 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Súrefni var mælt með YSI ProODO mæli sem var kvarðaður á hverjum mælistað. Alkalinity var greint samdægurs eða daginn eftir söfnun með títrun (Gran-títrun) á rannsóknarstofu Hafrannsóknastofnunar. Styrkur uppleystra anjóna (F , Cl og SO_4) var mældur á jónaskilju (IC-2000) á Jarðvísindastofnun Háskólans og styrkur annarra uppleystra efna var mældur hjá ALS Scandinavia í Svíþjóð með ICP-AES (aðalefni) og ICP-SFMS (snefilefni og málmar). Heildarstyrkur næringarefna var mældur með sjálfvirkum litrófsmæli hjá ALS í Danmörku. Þar var styrkur lífræns kolefnis einnig mældur með Skalar Formacs TOC/TN Analyzer.

3.1.2 Sýnasöfnun og mælingar á lífrænum og ólífrænum svifögnum

Gerð var mæling á magni lífrænna og ólífrænna svifagna í Grafarlæk (e. fine particulate organic material; FPOM) . Vatnssýnum var safnað á stöðvum 2a og 3a í 1 lítra flösku í miðjum farvegi

lækjarins. Sýnin voru geymd frosin fram að úrvinnslu, sem fólst í því að sía frá vatnið og þurrka og vigta það efni sem safnaðist í síuna. Það var gert með því að sía hvert sýni í gegnum glertrefjasíu (Whatman® GF/F 47 mm í þvermál) sem áður hafði verið brennd við 550°C í tvær klst. til stöðlunar. Rúmmál sýna var mælt áður. Eftir síun sátu á síunni lífrænar og ólífrænar agnir og var það sýnið sem unnið var áfram með. Síurnar voru þurrkaðar við 60°C í tvo sólarhringa og vegnar með nákvæmri vog eftir það, til að vita heildarmagn lífræns og ólífræns efnis (þurrvigti). Til að brenna lífræn efni úr sýnum voru þau brennd í brennsluofni við 550°C í tvær klukkustundir. Eftir brennsluna voru síurnar vegnar í þriðja sinn. Reiknað var út magn lífræns efnis út frá mismun á heildar þurrvigti hvers sýnis og magni ólífræns efnis sem eftir sat á síunni þegar lífrænt efni hafði verið brennt burt (öskulaus þurrvigti, e. ash free dry weight). Magn svifagna var að lokum uppreiknað miðað við magn í einum lítra af vatni.

3.2 Frumframleiðendur

3.2.1 Blaðgræna α

Blaðgræna var mæld með handmæli (BenthoTorch frá bbe Moldaenke) samkvæmt útgefnum leiðbeiningum (Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir o.fl. 2022). Mælirinn notar ljós og endurkast þess til að mæla heildarmagn blaðgrænu α á fersentimetra ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$). Endurkastið er af mismunandi bylgjulengdum og er notað til útreikninga á magni blaðgrænu α , sem mælirinn deilir niður á milli mismunandi hópa frumframleiðenda (blábakteríur, grænþörungur og kísilþörungur). Blaðgræna var mæld á sýnatökustöðvum 2a og 3b. Þrjár mælingar voru gerðar á hverjum steini sem mælt var á. Aðstæður voru erfiðar fyrir blaðgrænumælingar með handmæli þegar mælingar fóru fram á stöð 2a, því að ekki sást til botns vegna mikils aurs í vatni auk þess sem steinar á botni voru smáir. Þar af leiðandi var blaðgræna eingöngu mæld á 6 steinum á stöð 2a. Þegar mælingar fóru fram á stöð 3b voru aðstæður orðnar betri og blaðgræna því mæld á 10 steinum. Mælingarnar voru í samræmi við þær sem lýst er í útgefnum leiðbeiningum um mælingar á blaðgrænu α með handmæli í straum- og stöðuvötnum (Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir, Jón S. Ólafsson og Eydís Salome Eiríksdóttir, 2022).

3.2.2 Þörungur

Tekin voru sýni af yfirborði steina af lækjarbotni til að fá upplýsingar um þá þörungur sem þar uxu. Þrjú steinar voru teknir af botni innan sýnatöksniða á stöð 2a og stöð 3a. Lagt var út 15 m langt snið meðfram læknum. Sniðið (lækurinn) var 1,7–2,5 m á breidd á stöð 2a og 2,6–3,6 m á stöð 3a. Þrjú handahófs valin hnit réðu því hvaðan sýni voru tekn af botni innan sniðsins.

Nánari skýringar á sýnatökusniðum má til dæmis finna í leiðbeiningum Ragnhildar Þ. Magnúsdóttur og félaga (2022). Á hverju hnuti var einn steinn tekinn upp af botni og sýni tekin með því að leggja ramma ($24 \times 36 \text{ mm} = 8,64 \text{ cm}^2$) á yfirborð steinsins, burstu innan úr rammanum yfir plast bakka og skola yfir svæðið með eimuð vatni. Þetta var gert á þremur mismunandi stöðum á hverjum steini. Allt sem losnaði innan rammanna var skolað niður í bakkann og þaðan í brúna glerflösku og varðveitt með 10% kalíumjodlaun (Lugol) sem var blandað 1–2% styrkleika í sýni. Til að meta hvort að aðrir þörungahópar en kísilþörungar væru ríkjandi í sýnunum voru tekin lítil hlutsýni úr þessum sýnum áður en Lugol var sett á þau til varðveislu. Þau voru skoðuð daginn eftir sýnatöku fersk við 400 falda stækkun í Leica DM4000B fasasmásjá og ályktað um hverjir væru helstu hópar þörungna og blábaktería í sýnunum. Engar talningar eða magnmælingar voru gerðar við þess forskoðun.

Til að einfalda úrvinnslu við greiningar á kísilþörungum voru tekin hlutsýni úr þörungasýnunum þremur og sameinuð í eitt skilvinduglas. Sýnaflöskurnar voru vigtaðar fyrir og eftir sýnatöku og þannig fundin þyngd hvers sýnis. Hlutsýnin voru um 4% (efri stöð) og 5% (neðri stöð) af þeim sýnum sem þau voru tekin úr. Tegundagreiningar á kísilþörungum eru gerðar í smásjá út frá útliti kísilskelja sem umlykja einfruma þörungana. Til að sjá mynstur í skeljum kísilskeljanna var allt lífrænt efni hreinsað úr sýnunum með saltpétursýru. Eftir það voru sýni sett á smásjargler fyrir tegundagreiningar. Lýsingar á því hvernig hreinsun lífrænna efna úr sýnum og hvernig smásjárýnin voru útbúin má finna í skýrslu um ástandsflokkun straumvatna út frá tegundasamsetningu kísilþörungna (Iris Hansen og Eydís Salome Eiríksdóttir, 2021). Kísilþörungar á smásjarglerjum voru taldir og greindir í Leica DM4000B fasasmásjá, við 1000 falda stækkun, alls 699 kísilþörungaskeljar úr hvoru sýni (sem samsvara 349,5 frumum). Nánari lýsingu á talningu kísilþörungna og útreikningum á þéttleika þeirra má til dæmis finna í skýrslu eftir Jón S. Ólafsson og félaga (2020). Við tegundagreiningar kísilþörungna voru eftirfarandi greiningabækur og tegundalistar aðallega notuð: Cantonati, Kelly og Lange-Bertalot (2017) Lange-Bertalot (2001) og Bey og Ector (2013).

Við úrvinnslu gagna var tegundauðgi fundin, reiknað gildi fyrir Shannon fjölbreytileika og Shannon jafndreifni. Tegundauðgi (N_0) er fjöldi tegunda sem finnst á sýnatökustað. Shannon fjölbreytileiki (N_1) er reiknaður samkvæmt jöfnu 1 þar sem p_i táknar hlutfall af heildarsýni sem tilheyrir tegund i (Borcard o.fl., 2018).

$$\text{Jafna 1} \quad N_1 = \exp(-\sum p_i \ln p_i)$$

Shannon jafndreifni (E) er byggð á Shannon fjölbreytileika (N_1) og tegundauðgi (N_0) (Borcard o.fl., 2018) og er skilgreind samkvæmt jöfnu 2.

$$\text{Jafna 2} \quad E = N_1/N_0$$

Tegundasamsetning kísilþörungna á botni Grafarlækjar var einnig notuð til að reikna út gildi fyrir umhverfisvísana IPS (e. Specific Pollution Index) og TDI (e. Trophic Diatom Index) í forriti sem heitir Omnidia (Lecointe o.fl., 1993). Þessir umhverfissvísar eru víða notaðir í Evrópu til að greina næringarefnaálag í ferskvatni, einkum af völdum fosfórs. Nánari upplýsingar um hvernig þessir umhverfisvísar eru notaðir má finna í skýrslu um ástandsflokkun straumvatna út frá tegundasamsetningu kísilþörungna (Iris Hansen og Eydís Salome Eiríksdóttir, 2021).

3.3 Hryggleysingjar

Sýni fyrir hryggleysingjarannsóknir (smádýrannsóknir) voru tekin á sýnatökustöðvum 2a og 3a á sömu sniðum og þörungasýnin samkvæmt útgefnum leiðbeiningum um söfnun hryggleysingja á botni straumvatna (Jón S. Ólafsson o.fl., 2022). Notaður var Surber-sýnataka með 25 x 25 cm ramma og netpoka með 250 µm möskvastærð. Voru 6 sýni tekin á hvorri sýnatökustöð. Fyrir hvert sýni var sýnatakinn lagður á árbotninn á þeim stað sem tilviljanahnit sögðu til um og þess gætt að ramminn lægi þétt við botninn. Rótað var með höndum í u.þ.b. 30 sek. innan úr ramma sýnatakans og leitast við að allt sem rótaðist upp væri fangað í netpokann. Innihaldi netpokans var síðan skolað með sprautuflösku í sýnaílát. Ef steinar sem voru innan rammans voru lausir af botni og stærri en 5 cm í þvermál voru þeir teknir upp áður en byrjað var að róta innan úr rammanum og þvegið allt af þeim í plastfötu. Það sem kom af steinunum var varðveitt með restinni af sýninu. Hvert sýni var varðveitt með etanóli (96%) þannig að endanlegur styrkur etanóls var að lágmarki 70% í sýninu.

Við úrvinnslu úr þessum sýnum voru smádýr flokkuð til helstu hópa, ættkvísla eða tegunda undir víðsjá Leica MZ125. Rykmý var greint sérstaklega til tegunda til að fá nákvæmari mynd á samfélagsgerð smádýralífs í læknum. Við úrvinnslu sýna voru hryggleysingjar úr hverju sýni taldir og greindir undir víðsjá eins og unnt var til tegunda, ættkvísla, ætta eða í sumum tilvikum stærri greiningareininga. Fjöldi lífvera var uppreiknaður á fermetra botnflatar. Rykmýslirfur voru greindar til tegunda, ættkvíslar eða hópa í Leica DM1000 smásjá við 100–1000x stækkun. Lirfurnar voru steypar í Hoyer's steypiefni (Anderson, 1954) á smásjargler og þekjugler (10–12 mm í þvermál) sett yfir hverja þeirra. Passað var upp á að kviðlæg hlið lirfuhausanna sneri upp áður en þekjuglerinu var þrýst gætilega niður. Við tegundagreiningu rykmýslirfa voru eftirfarandi heimildir notaðar: Cranston (1982), Wiederholm (1983) og Schmid (1993).

Við úrvinnslu gagna úr greiningu hryggleysingja var tegundauðgi fundin, reiknað gildi fyrir Shannon fjölbreytileika og Shannon jafndreifni líkt og lýst var í kafla 3.2.2.

3.4 Fiskur

Vettvangsvinna við rannsóknir á fiskum í Grafarlæk fór fram 5. september 2022, á sama tíma og öðrum sýnum var safnað. Sýnum af fiskum var aflað með rafveiðum þar sem notaður er búnaður sem samanstendur af rafstöð sem framleiðir 220 volta riðstraum sem breytt er í 300 volta jafnstraumsspennu og gefur frá sér um 0,5 ampera straum. Málmotta er notuð sem hlutlaust bakskaut (katóða/mínusskaut) og liggur hún á botni árinna. Forskautið (anóða/plússkaut) er leitt í málmhring á enda rafveiðistafs sem veiðimaðurinn heldur í vatninu og fer yfir það svæði sem veiða skal. Þegar málmhringurinn er yfir, eða nálægt, fiskum lamast þeir tímabundið og dragast að hringnum. Þá er fiskurinn háfaður upp og safnað í fötu með vatni. Rafvirkni málmhringsins nær um 1 m út frá honum.

Við sýnaöflun var farin ein yfirferð með rafveiðum á hvorri rafveiðistöð. Með einni yfirferð veiðist aðeins hluti þeirra fiska sem eru á viðkomandi stöð. Sýnt hefur verið fram á að marktækt samband er á milli fjölda fiska sem veiðist í einni yfirferð og heildarfjölda fiska á viðkomandi rafveiðisvæði. Því er hægt að nota fjölda fiska í einni yfirferð sem vísitölu á raunverulegan seiðapéttleika, við samanburð á milli svæða og tíma (Friðþjófur Árnason o.fl., 2005). Flatarmál hvorrar rafveiðistöðvar var mælt og vísitala þéttleika á hverja 100 m² botnflatar reiknuð.

Allir veiddir fiskar voru greindir til tegundar og lengdar og þyngdarmældir. Sýni voru tekin af hluta veiddra fiska til aldurgreiningar en aldur fiska er lesinn út frá vaxtamynstri í kvörnum og/eða hreistri. Öðrum fiskum var sleppt aftur að loknum mælingum.

4 Niðurstöður

4.1 Eðlis- og efnabættir

Niðurstöður efnagreininga á vatnssýnum sem safnað var í Grafarlæk í september 2022 eru í töflu 2. Mælingar sem gerðar voru á vatnshita og pH sýndu að hitinn jókst niður farveginn (7 – 10°C) og pH var frá 7,85 til 7,99, lægst á efstu stöðinni. Rafleiðni (leiðni) var óvenjuhá miðað við ferskvatn. Leiðni endurspeglar magn hlaðinna efna (jóna) í vatni og hækkar með hækkandi efnastyrk. Leiðni í Grafarlæk var 269–285 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en til samanburðar var leiðni ríflega 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í nágrannaánni Úlfarsá á sama tíma (Veðurstofa Íslands, 2023). Leiðni í Grafarlæk var hærri en mælst hefur í ríflega 1300 árvatnssýnum á Íslandi sem lágu til grundvallar við skilgreiningu á viðmiðunaraðstæðum straumvatna á Íslandi (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2020a; 2020b). Því kom ekki á óvart að heildarstyrkur uppleystra efna var óvenjuhár í Grafarlæk miðað við annað ferskvatn á Íslandi (189–197 mg/l), sérstaklega styrkur uppleysts natríum (Na) og klórs (Cl). Natríumstyrkurinn var sambærilegur við það sem finnst í Mývatni sem er undir áhrifum af jarðhita, en klórstyrkurinn er sá langhæsti sem finnst í gögnum um efnasamsetningu ferskvatns í gagnagrunni Hafrannsóknastofnunar. Það sem kemst næst því eru Straumstjarnir, sem eru undir áhrifum af sjávarföllum, og Litlaá í Kelduhverfi sem er mjög jarðhitablönduð og undir áhrifum frá gosbeltinu. Styrkur annarra efna í Grafarlæk er í hærri kantinum en sker sig ekki eins úr miðað við það sem þekktist fyrir efnastyrk ferskvatns á Íslandi.

Það væri nærtækt að álykta að hluti vatnsins í Grafarlæk séu jarðhitaættað en þegar hlutföll Na/Cl eru skoðuð þá benda þau til að um 75% Na sé sjávarættað og 25% ættað úr bergi. Það er svipað því sem annarsstaðar sést í ferskvatni á Íslandi sem er án áhrifa af jarðhitavatni. Niðurstöður mælinga á uppleystum bór (B) í Grafarlæk segja sömu sögu en bórstyrkur er mun hærri í jarðhitavatni en í köldu ferskvatni. Styrkur B í Grafarlæk er lágur miðað við styrk Cl og hlutföll B/Cl í Grafarlæk benda þess að vatnið sé undir áhrifum af sjávarsöltum en ekki blandað jarðhitavatni.

Snefilefni eru torleyst efni sem eru í mjög litlu magni í vatni. Snefilefni eru málmar og af þeim eru allmargir svokallaðir þungmálmar. Mörg snefilefni eru nauðsynleg lífríkinu en önnur geta verið því hættulegt. Hætta er á að þungmálmar geti losnað út í lífríkið af mannavöldum og valdið mengun í umhverfinu. Styrkur snefilefna í Grafarlæk skar sig ekki úr miðað við það sem mælist gjarnan í ferskvatni á Íslandi fyrir utan styrk mangans (Mn) og kóbólts (Co) sem var í hærri kantinum. Einnig var styrkur baríums (Ba) og nikkels (Ni) í Grafarlæk í herra lagi miðað við gagnasafn Hafrannsóknastofnunar í ferskvatni á Íslandi. Í reglugerð nr. 796/1999 um varnir gegn mengun vatns eru tiltekin viðmið fyrir nokkra snefilmálma. Það eru kopar, sink, kadmíum, blý, króm, nikkell og arsen. Sýnin úr Grafarlæk voru í umhverfisflokki A (ósnortið vatn) fyrir flest

efni en styrkur króms og kopars á neðri tveimur stöðvunum er í umhverfisflokki B (lítið snortið vatn).

Niðurstöður mælinga á styrk uppleystra næringarefna eru í töflu 2. Í rannsókninni var mældur styrkur uppleysts ólífræns fosfórs (fosfats, PO_4), og styrkur þriggja uppleystra ólífrænna köfnunarefnissambanda, nitrats (NO_3), nítríts (NO_2) og ammóníums (NH_4). Auk þess var mældur heildarstyrkur uppleystra lífrænna og ólífrænna efnasambanda fosfórs og köfnunarefnis (P-total og N-total, oft kallað TDP og TDN, total dissolved phosphorus og nitrogen). Munurinn á heildarstyrk P og N og styrk ólífrænu efnasambandanna (PO_4 , NO_3 , NO_2 og NH_4) gefur til kynna styrk uppleysts köfnunarefnis á lífrænu formi (DON og DOP). Styrkur fosfórs, lífræns og ólífræns, í Grafarlæk var lágur en styrkur nitrats (NO_3) var mjög hár og hærri en Hafrannsóknastofnun hefur mælt í ferskvatni á Íslandi, ef undan er skilin sýni sem safnað hefur verið í lind sem kennd er við Bjarg og rennur í Mývatn (Rannsóknarstöðin við Mývatn óbirt gögn). Styrkur NO_3 í Reykjavíkurtjörn í sýnum sem safnað var 2022 var um 30% lægri en mældist sama ár í Grafarlæk (Náttúrufræðistofa Kópavogs óbirt gögn). Uppruni köfnunarefnisins er ekki þekktur að svo stöddu.

Tafla 2. Niðurstöður mælinga á eðlis- og efnafræðilegum mælipáttum í Grafarlæk

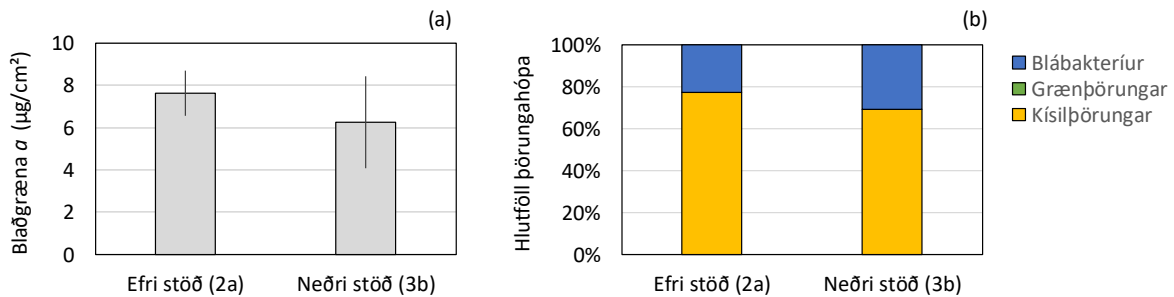
Sýnanúmer		20220905-09:50	20220905-13:40	20220905-15:00
Sýnatökustaður		Grafarlækur	Grafarlækur	Grafarlækur
Staðsetning		Stöð 1	Stöð 2	Stöð 3
Hnit °N		64,12288	64,12747	64,12899
Hnit °V		21,77994	21,78002	21,78953
Dagsetning		5.9.2022	5.9.2022	5.9.2022
Tímasetning		09:50	13:40	15:00
Lofthiti	°C	13	16	16
Vatnshiti	°C	7,0	9,7	10,1
pH		7,85	7,99	7,99
Leiðni	µS/cm	273	269	285
SiO ₂	µmól/l	251	241	237
Na	µmól/l	1305	1422	1540
K	µmól/l	23	23	25
Ca	µmól/l	447	417	409
Mg	µmól/l	199	179	186
Alkalinity	meq/l	1,28	1,16	1,18
Cl	µmól/l	1167	1233	1349
F	µmól/l	2,54	2,39	2,83
SO ₄	µmól/l	68,0	71,0	74,6
TOC	mg/l	0,95	1,00	3,30
P-total*	µmól/l	0,15	0,35	0,23
P-total**	µmól/l	0,161	0,291	0,194
PO ₄	µmól/l	<0,03	0,11	0,09
N-total	µmól/l	54,3	64,3	62,1
NO ₃	µmól/l	51,4	52,8	53,5
NO ₂	µmól/l	0,086	0,157	0,286
NH ₄	µmól/l	1,071	2,856	0,443
Al	µmól/l	0,175	0,415	0,295
Fe	µmól/l	2,49	0,953	1,244
B	µmól/l	0,866	0,971	1,017
Mn	µmól/l	0,744	0,140	0,129
Sr	µmól/l	0,201	0,201	0,200
As	nmól/l	<0,67	0,808	<0,67
Ba	nmól/l	2,11	2,10	1,95
Cd	nmól/l	0,049	0,042	<0,018
Co	nmól/l	2,17	1,17	1,44
Cr	nmól/l	4,42	10,83	8,92
Cu	nmól/l	6,77	7,18	9,44
Ni	nmól/l	3,71	3,07	4,41
Pb	nmól/l	<0,048	<0,048	0,058
Zn	nmól/l	11,2	16,2	13,4
Hg	nmól/l	<0,01	<0,01	<0,01
Mo	nmól/l	1,30	1,66	1,50
Ti	nmól/l	1,78	2,69	1,84
V	µmól/l	0,037	0,059	0,062

*P-total mælt með ICP-SFMS, **P-total mælt með Autoanalyser

4.2 Frumframleiðendur í vatnsbol

4.2.1 Blaðgræna a

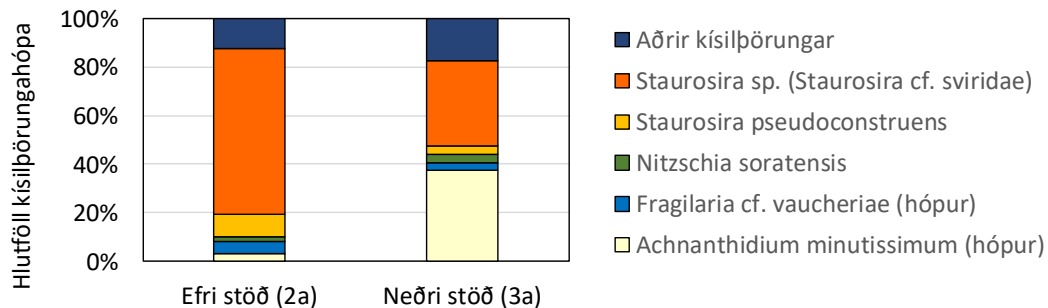
Blaðgræna a mældist að meðaltali $7,7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ á stöð 2a og $6,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ á stöð 3b (mynd 6 a) og var þetta ómarktækur munur á milli sýnatökustöðva samkvæmt t-prófi. Þetta eru nokkuð há gildi miðað við það sem mælst hefur í öðrum straumvötnum á Íslandi (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2020b). Uppruni blaðgræunnar var að meirihluta úr kísilþörungum og um eða yfir fjórðungur úr blábakteríum. Engin blaðgræna a mældist úr grænþörungum (mynd 6 b).



Mynd 6 a-b. Blaðgræna a mæld með BenthosTorch flúrmæli í Grafarlæg á stöðvum 2a (á 6 steinum) og 3b (á 10 steinum). (a) Magn blaðgrænu a ($\mu\text{g}/\text{m}^2$) meðaltöl og staðalfrávik. (b) Hlutföll þörungahópa á steinum samkvæmt blaðgrænumælingum.

4.2.2 Þörungar

Þörungasýnin sem voru skoðuð ómeðhöndluð við 400 falda stækkun í smásjá einkenndust af kísilþörungum. Svólítið sást af greinóttum blábakteríu þráðum og öðrum blábakteríu þráðum af Oscillatoriales ættbálki í sýnum frá báðum sýnatökustöðvum. Ekki sáust neinir grænþörungar við þessa skönnun. Þetta var í samræmi við niðurstöður mælinga með BenthosTorch blaðgrænumælinum (kafli 4.2.1).



Mynd 7. Tegundir og tegundahópar kísilþörungna sem fundust á steinum í Grafarlæg og náðu að lágmarki 3% hlutfalli á annarri sýnatökustöðinni.

Kísilþörungaflóran einkenndist af fábreytni á báðum sýnatökustöðvum. Þéttleiki kísilþörungna á yfirborði steina var mikill á báðum sýnatökustöðvunum en fremur fáar tegundir eða tegundahópar fundust á hvorum stað (tafla 3) miðað við það sem sést hefur í öðrum vatnsföllum á Íslandi (Iris Hansen og Eydís Salome Eiríksdóttir, 2021 og óbirt gögn um þéttleika úr sömu rannsókn). Kísilþörungar sem voru greindir sem *Staurosira* sp. voru ríkjandi tegund á efri stöðinni og voru lang flestir af tegund sem líkist *Staurosira sviridae* Kulikovskiy, Genkal & Mikheyeva (mynd 7). Á neðri stöðinni voru tveir hópar kísilþörungna algengastir, annars vegar fyrrnefndur *Staurosira* sp. hópur og hins vegar hópur kísilþörungna sem flokkast saman í *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki (mynd 7, tafla 4). Fjölbreytileiki Shannons var í samræmi við þetta lágur á efri stöðinni þar sem einn tegundarhópur var allsráðandi en þriðjungur hærri á neðri stöðinni þar sem tveir tegundahópar voru algengastir. Stakar ríkjandi tegundir koma fram í lágu gildi fyrir Shannon jafndreifni (tafla 3).

Mat á vistfræðilegu ástandi Grafarlækjar út frá tegundasamsetningu kísilþörungna, þ.e. gildi fyrir umhverfisvísinn IPS (og TDI) (tafla 3) gáfu til kynna gott vistfræðilegt ástand fyrir lækinn í heild og efri sýnatökustöðina, en reiknað IPS gildi fyrir neðri stöðina var örlítið hærra en viðmið (16,5) sem er fyrir mjög gott ástand (Iris Hansen og Eydís Salome Eiríksdóttir, 2021). Nánar er fjallað um ástandsflokkun Grafarlækjar í kafla 5.

Tafla 3. Kísilþörungar á steinum, þéttleiki, fjöldi tegunda, Shannon fjölbreytileiki og jafndreifni. Reiknuð gildi fyrir umhverfisvísana IPS (e. Specific Pollution Index) og TDI (e. Trophic Diatom Index).

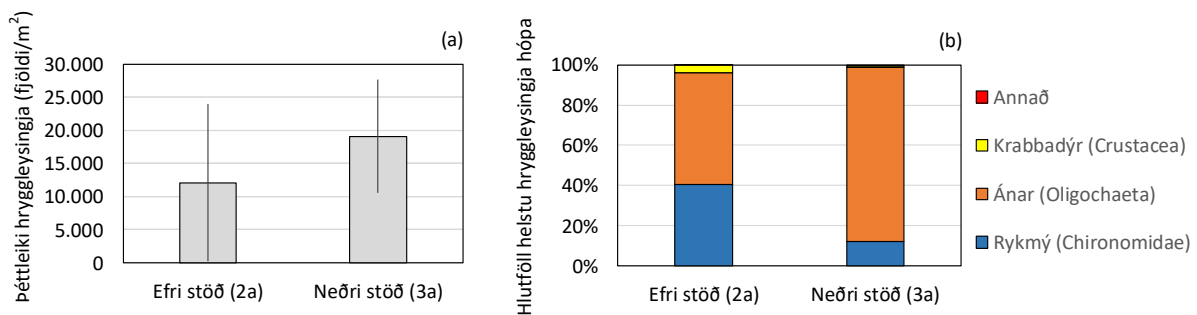
	Þéttleiki (kísilþörungar/cm ²)	Fjöldi tegunda (tegundaaúðgi)	Shannon fjölbreytileiki	Shannon jafndreifni	TDI	IPS
Efri stöð 2a	49.281.177	25	3,97	0,16	7,6	14,8
Neðri stöð 3a	31.854.134	26	6,22	0,24	11,1	16,7
Báðar stöðvar 2a og 3a	40.567.656	34	5,57	0,16	9,6	15,7

Tafla 4. Tegundir kísilþörungum og tegundahópar sem greindust á steinum á tveimur sýnatökustöðvum í Grafarlæk. Hlutfall tegunda og hópa á sýnatökustöðvum 2a og 3a.

Kísilþörungategund/-tegundahópur og höfundar heitis	Hlutfall (%)	
	Efri stöð (2a)	Neðri stöð (3a)
<i>Achnanthydium bioretii</i> (Germain) Edlund	0,3	0,3
<i>Achnanthydium daonense</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot Monnier & Ector	0,3	
<i>Achnanthydium laenburgianum</i> (Hustedt) Monnier Lange-Bertalot & Ector	0,3	
<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	3,1	37,5
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow	0,3	0,3
<i>Cocconeis</i> sp.	0,1	
<i>Diatoma tenuis</i> C. Agardh	1,1	0,9
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse in Rabh.) D.G. Mann in Round Crawford et Mann	1,1	2,0
<i>Encyonema reichardtii</i> (Krammer) D.G. Mann in Round Crawford & Mann	1,1	0,6
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch in Rabh.) D.G. Mann		0,3
<i>Epithemia</i> sp.	0,3	
<i>Fragilaria</i> cf. <i>vaucheriae</i> (Kützing) Petersen, hópur	5,0	3,1
<i>Fragilaria gracilis</i> Østrup		1,2
<i>Fragilaria perminuta</i> (Grunow) Lange-Bertalot	0,3	
<i>Fragilari</i> a sp.	0,3	
<i>Geissleria acceptata</i> (Hust.) Lange-Bertalot & Metzeltin		0,3
<i>Gomphonema</i> cf. <i>rhombicum</i> M. Schmidt		0,9
<i>Mayamaea permitis</i> (Hustedt) Bruder & Medlin		0,6
<i>Melosira varians</i> Agardh		0,1
<i>Navicula</i> cf. <i>ireneae</i> Van de Vijver, Jarlman & Lange-Bertalot	1,1	
<i>Navicula</i> cf. <i>radiosa</i> Kützing	0,0	0,3
<i>Navicula gregaria</i> Donkin	0,4	1,3
<i>Navicula lanceolata</i> (Agardh) Ehrenberg	0,3	1,1
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow	0,6	0,9
<i>Nitzschia</i> cf. <i>fonticola</i> Grunow in Cleve et Möller	2,3	0,5
<i>Nitzschia</i> cf. <i>paleacea</i> (Grunow) Grunow in Van Heurck	0,1	0,7
<i>Nitzschia soratensis</i> Morales & Vis	2,0	3,2
<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek & Stoermer	0,3	1,5
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	0,6	0,3
<i>Sellaphora nigri</i> (De Not.) C.E. Wetzel et Ector comb. nov. emend.		0,3
<i>Stausira pseudoconstruens</i> (Marciniak) Lange-Bertalot	9,2	3,8
<i>Stausira</i> sp.	68,2	35,2
<i>Stausirella</i> sp. A		1,5
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	0,3	
ógreint	0,9	1,4
Samtals	100,0	100,0

4.3 Hryggleysingjar á botni

Þéttleiki botnlægra hryggleysingja var nokkuð breytilegur á milli sýna, en að meðaltali voru um 12.093 hryggleysingjar/m² á efri stöðinni (2a) og 19.093 á þeirri neðri (3a) (mynd 8a og tafla 6). Þetta var ómarktækur munur á milli stöðva samkvæmt t-prófi. Ánar voru algengastir hryggleysingja á botni Grafarlækjar á báðum stöðvunum og lirlfur rykmýs næstalgengastar (mynd 8b). Hlutfall ána var mun hærra á neðri stöðinni en þeirri efri, enda þéttleiki þeirra meiri þar en ofar í læknum (mynd 8b og tafla 6). Af rykmýi var tegundin *Orthocladius (O.) frigidus* allsráðandi á báðum sýnatökustöðum (tafla 6). Að auki þóttu allflestar rykmýslirlfur sem greindar voru sem „Orthocladiinae ógreindar“ líkjast tegundinni *Orthocladius (O.) frigidus*, en lirlfurnar voru of litlar til að hægt væri að greina þær með vissu. Aðrar tegundir rykmýs voru samanlagt innan við 4% af því rykmýi sem greint var á báðum stöðvum (tafla 6). Fleiri krabbadýr þ.e. skelkrebbsi, árfætlur og vatnaflær fundust í sýnum frá stöð 2a en á stöð 3a, en hlutfall þeirra var lágt á báðum stöðum (mynd 8).



Mynd 8. Hryggleysingjar á botni Grafarlækjar á sýnatökustöðvum 2a og 3a. (a) Meðalþéttleiki (fjöldi/m²) og staðalfrávik. (b) Hlutföll (%) mismunandi hryggleysingjahópa.

Tegundaauði (fjöldi tegunda og tegundahópa) samfélags hryggleysingja á botni Grafarlækjar var nokkur á báðum sýnatökustöðvum (tafla 5). Hins vegar báru reiknuð gildi fyrir fjölbreytileika Shannons og jafndreifni Shannons vott um fábreytni í tegundasamsetningu vegna ríkjandi hlutfalls ána og einnar tegundar af rykmýslirlfum.

Tafla 5. Hryggleysingjar á botni Grafarlækjar, fjöldi tegunda, Shannon fjölbreytileiki og jafndreifni á tveimur sýnatökustöðvum. Gildi í sviga eru niðurstöður þar sem vatnaflær voru taldar sem einn hópur í stað fjögurra til samræmis við vistfræðileg viðmið við ástandsflokkun straum- og stöðuvatna á Íslandi (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2020b).

	Fjöldi tegunda (tegundaauði)	Shannon fjölbreytileiki	Shannon jafndreifni
Efri stöð 2a	17 (15)	2,98 (2,96)	0,18 (0,20)
Neðri stöð 3a	14 (11)	1,62 (1,62)	0,12 (0,15)
Báðar stöðvar 2a og 3a	21 (19)	2,44 (2,36)	0,12 (0,12)

Tafla 6. Meðalþéttleiki (fjöldi/m²) og staðalfrávik hópa- og tegunda hryggleysingja á botni Grafarlækjar á tveimur sýnatökustöðvum (2a og 3a).

Hryggleysingjahópar/tegundir	Efri stöð (2a)		Neðri stöð (3a)	
	N=6		N=6	
	Meðaltal	Stf.	Meðaltal	Stf.
Armla (Hydra)	0	0	16	18
Ánar (Oligochaeta)	6.734	8.117	16.512	8.603
Sniglar (Gastropoda)	8	13	43	48
Skelkrebbs (Ostracoda)	45	41	27	31
Árfætlur (Copepoda)				
Augndýli (Cyclopoidae)	167	107	96	67
Ormdíli (Canthocamptidae)	143	157	11	17
Vatnaflær (Cladocera)				
<i>Alona</i> spp.	16	27	11	17
Burstafló (<i>Iliocryptus sordidus</i>)	61	87	48	44
Broddfló (<i>Macrothrix hirsuticornis</i>)	18	28	16	39
Kúlufló (<i>Chydorus</i> sp.)	0	0	16	18
Vatnamítlar (Hydrachnellae)	7	17	0	0
Tvívængjulirfur (Diptera)				
Strandfluga (<i>Clinocera</i> sp.)	11	26	0	0
Lækjafluga (<i>Limnophora</i> sp.)	5	13	0	0
Rykmýslirfur (Chironomidae)				
<i>Orthocladius</i> (<i>O.</i>) <i>frigidus</i>	3.990	3.937	2.206	1.210
Orthoclaðiinae ógr	706	1.311	8	20
<i>Chaetocladius</i>	31	77	0	0
<i>Diamesa bohemani/zernyi</i> gr.	5	13	15	27
<i>Macropelopia</i>	31	77	19	30
<i>Micropsectra</i>	6	14	19	30
Rykmýspúpur (Chironomidae)	93	109	43	26
Rykmýsflugur (Chironomidae)	14	35	0	0
Samtals (fjöldi/m²)	12.093	11.842	19.093	8.554

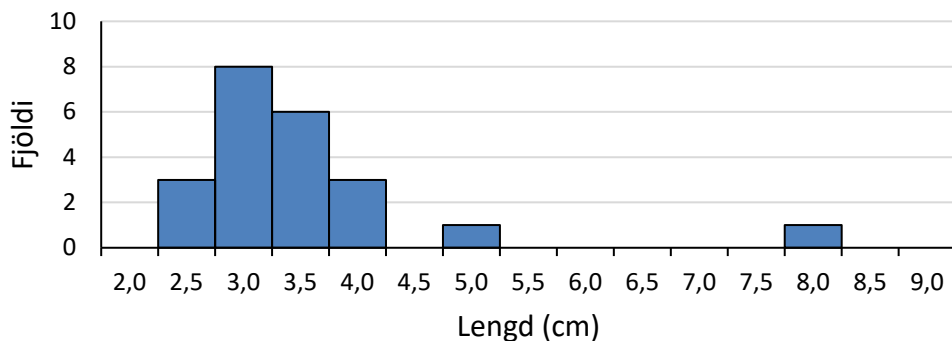
4.4 Fiskur

Alls veiddust fjórir regnbogasilungar (*Onchorhynchus mykiss*) og 22 flundrur (*Platichthys flesus*) á tveimur stöðvum í Grafarlæk. Á stöð 2b veiddist einn regnbogasilungur og á stöð 3b veiddust þrjár regnbogasilungar og 22 flundrur (Tafla 7).

Tafla 7. Stærð rafveiðistöðva, GPS-hnit, fjöldi fiska og vísitala á þéttleika (N/100m²) regnbogasilungs og flundru sem veiddist í rafveiðum í Grafarlæk 5. sept. 2022.

Stöð	Stærð m ²	GPS - hnit (hddd°ddddd)		Regnbogasilungur		Flundra	
		N	W	Vísitala		Vísitala	
				Fjöldi	þéttleika	Fjöldi	þéttleika
2b	43,6	64.12852°	21.78129°	1	2,3	0	0,0
3b	70,2	64.12907°	21.78989°	3	4,3	22	31,3

Lengd regnbogasilunganna var á bilinu 16,7–20,7 cm og þyngdin frá 57,6–96,7 g. Allir voru þeir á fyrsta ári samkvæmt aldursgreiningu á kvörnum/hreistri. Flundrur sem veiddust á stöð 3b voru á lengdabilinu 2,6–8,2. Flestar voru á bilinu 2,6–5,0 cm og á fyrsta vaxtarsumri en ein flundra var 8,2 cm og líklega á öðru vaxtarsumri (mynd 9).



Mynd 9. Lengdardreifing flundru sem veiddist í Grafarlæk 5. september 2022.

Allir regnbogasilungar sem veiddust voru með eydda uggaenda og sporð sem eru dæmigerð útlitseinkenni laxfiska sem koma úr eldi (mynd 10).



Mynd 10. Regnbogasilungur sem veiddist í Grafarlæk 5. september 2022.

5 Ástandsflokkun Grafarlækjar

Rannsóknin sem gerð var í Grafarlæk í september 2022 beindist meðal annars að líffræðilegum og eðlisefnafræðilegum gæðapáttum sem skilgreindir hafa verið samkvæmt lögum um stjórn vatnamála (nr. 36/2011) og eru notaðir til flokkunar á vistfræðilegu ástandi straumvatns. Líffræðilegu gæðapættirnir sem samþykktir hafa verið eru þörungur og hryggleysingar en fiskur er einnig gæðapáttur skv. lögnum þrátt fyrir að hafa ekki verið skilgreindur á Íslandi enn sem komið er. Eðlisefnafræðilegu gæðapættirnir eru leiðni, súrnunarástand og næringarefnaástand (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2020b). Gæðapættirnir eru metnir með ákveðnum matsþáttum sem gefa til kynna hvort þeir endurspegli náttúrulegt ástand eða ekki. Víki ástand þeirra frá náttúrulegu ástandi er mikilvægt að meta hversu mikið frávik er. Ástandsflokkarnir eru fimm talsins sem skiptast upp með kvarða sem nær frá 0–1 (EQR/nEQR) og eru þeir táknaðir með litum. Blár og grænn litur táknar *mjög gott* og *gott ástand* og er markmið laga um stjórn vatnamála að allt vatn sé í þeim flokkum. Gulur litur táknar *ekki viðunandi ástand* og kveða lögin á um að grípa þurfi til aðgerða til að upphefja ástand sem er lakara en *gott*. Til viðbótar við þessa þrjá ástandsflokkar eru tveir flokkar í flokkunarkerfinu sem táknaðir eru með appelsínugulum og rauðum lit og tákna *slakt* og *lélegt ástand* en þeir flokkar eru ekki settir fram hér. Vistfræðilegt ástand skal meta með viðeigandi gæðapáttum og skal sá gæðapáttur sem fær lökustu útkomuna ráða endanlegri ástandsflokkun.

Niðurstöður rannsóknarinnar sem gerð var í Grafarlæk í september 2022 voru notaðar ásamt útgefnum viðmiðum (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2020b) til ástandsflokkunar lækjarins. Grafarlækur er ekki skilgreint vatnshlot og hefur því ekki verið flokkaður eftir vatnagerð. Hér er gert ráð fyrir að hann tilheyri vatnagerðinni RL3, straumvatn sem er undir áhrifum af vötnum og votlendi á vatnasviði og er án áhrifa af jökli. Reiknað var meðaltal matsþátta fyrir hvern gæðapátt og endanleg ástandsflokkun var gerð út frá lökustu einkunninni (e. one out – all out). Í tilviki Grafarlækjar voru samræmd EQR gildi (nEQR) á bilinu 0,42 til 1 (Tafla 8) og

samkvæmt því er endanleg ástandsflokkun Grafarlækjar *ekki viðunandi ástand* með nEQR = 0,42. Niðurstaða reikninga á samræmdu gæðahlutfalli (nEQR) fyrir einstaka matsþætti var þó enn lægri og lægst var það fyrir styrk NO₃ (0,04) miðað við uppgefnar forsendur. Flokkunarkerfið gerir þó ekki ráð fyrir að nota það beint heldur var reiknað meðaltal af nEQR fyrir öll næringarefni og það notað við mat á gæðapættinum „næringarefnaástand“.

Ástandsflokkunin gefur til kynna að Grafarlækur skeri sig verulega frá náttúrulegu ástandi sem búast má við að ríki í straumvatni af þeirri gerð sem Grafarlækur telst vera (RL3). Og í raun skiptir ekki máli við hvaða vatnagerð miðað er við, Grafarlækur sker sig frá náttúrulegu og nær-náttúrulegu ástandi fyrir allar staumvatnsgerðir sem viðmið hafa verið gerð fyrir (Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl., 2020b).

Tafla 8. Ástandsflokkun Grafarlækjar miðað við rannsókn á líffræðilegum og eðlisefnafraðilegum gæðapáttum sem gerð var 5. september 2022.

	Gæðapættir	Matsþættir	Einingar	Mæligildi	EQR	nEQR	Litakóði ástands-flokkunar	
Líffræðilegir gæðapættir	Þörungar	Blaðgræna α	$\mu\text{g/l}$	6,68	0,33	0,60	0,60	
		(Kísilþörungar)	IPS	15,7	0,83	0,87	0,87	
	Hryggleysingjar	Tegundaauðgi	Heildarfjöldi	19	1,0	1,0		
		Shannon fjölbreytni		2,51	0,55	0,46		
		Shannon jafndreifni		0,14	0,28	0,52		
		Meðaltal nEQR hryggleysingjar			0,66	0,66		
Eðlisefnafraðilegir gæðapættir		Leiðni	$\mu\text{S/cm}$	276	0,33	0,42	0,42	
		pH		7,94	1,0	1,0		
		Basavirkni	meq/l	1,21	1,0	1,0		
			Meðaltal nEQR súrnunarástand			1,0	1,0	
			PO ₄	$\mu\text{mól/l}$	0,08	1,0	1,0	
			NO ₃	$\mu\text{mól/l}$	52,6	0,04	0,04	
			NH ₄	$\mu\text{mól/l}$	1,46	0,44	0,48	
		Meðaltal nEQR næringarefni			0,49	0,49		

Leiðni: Neðri mörk EQR fyrir ekki viðunandi ástand var sett = 0,3

NO₃: Neðri mörk EQR fyrir lélegt ástand var sett = 0

NH₄: Neðri mörk EQR fyrir ekki viðunandi ástand var sett = 0,2

Hryggleysingjar, Shannon jafndreifni: Neðri mörk EQR fyrir ekki viðunandi ástand var sett = 0,2

6 Umræður

Í þessari skýrslu eru raktar niðurstöður rannsóknar á lífríki og efnasamsetningu sem gerð var í Grafarlæk í byrjun september 2022. Niðurstöður rannsóknarinnar leiddu í ljós að efnastyrkur í Grafarlæk er mjög hár miðað við ómengað ferskvatn á Íslandi og aðallega á það við um styrk natríums, klórs og nitrats sem er sérstaklega hár. Hlutföll uppleystra efna benda til þess að natríum og klór séu sjávarættuð en eigi ekki uppruna í jarðhita. Ekki er hægt að benda á neina augljósa ástæðu fyrir háum efnastyrk í vatninu en vissulega beindist grunur að þeirri starfsemi sem er á vatnasviði lækjarins, golfvellingum og fiskeldinu. Í því ljósi voru gerðar mælingar á rafleiðni vatnsins ofar á vatnasviði lækjarins en rafleiðni endurspeglar magn uppleystra hlaðinna efna í lausn (jóna) og gefur þannig óbeina vísbandingu um efnastyrk. Niðurstöður þeirra athugana voru að rafleiðni vatnsins í læknum er há alveg að upptökum þess í lindum sem kallaðar eru Bullaugu og eru staðsettar á golfvelli Grafarholts (Mynd 11). Það bendir til þess að gunnvatnið sem þar kemur upp sé með sambærilegan styrk uppleystra aðalefna og mælist á sýnatökustöðunum neðar á vatnasviðinu. Ekki er hins vegar ljóst hvort styrkur nitrats sé sambærilegur í lindinni og á sýnatökustöðunum neðar í ánni. Taka þyrfti vatnssýni í lindinni til að komast að raun um það.



Mynd 11. Uppspretta Grafarlækjar í Bullaugum á golfvellingum í Grafarholti. Rafleiðni þar var á móta há í uppsprettunni og neðar á vatnasviðinu þar sem vatnssýnum var safnað.

Þrátt fyrir að leiðni og styrkur uppleystra efna sé hærrí en gengur og gerist í fersku vatni á Íslandi þá er styrkur þeirra ekki hærrí en segir í reglugerð um neysluvatn (nr. 536/2001). Hins vegar geta eiginleikar vatnsins haft áhrif á hvaða lífríki getur þrífist í Grafarlæg en rannsóknin leiddi í ljós að lífríki á botni Grafarlækjar var nokkuð óvenjulegt miðað við önnur straumvötn á Íslandi. Lífmassi þörunga (magn blaðgrænu α) var óvenju mikill og tegundasamsetningar þörunga- og hryggleysingjasamfélaga í læknum voru mjög fábreyttar. Ein tegund kísilþörunga var ríkjandi á efri stöðinni en á þeirri neðri var önnur tegund einnig nokkuð algeng. Ánar voru ríkjandi gerð hryggleysingja á báðum stöðvum, sérstaklega á neðri stöðinni en þar var fíngerðara set á botni farvegarins heldur en á efri stöðinni sem er heppilegt búsvæði fyrir ána. Rykmý var næst algengasti hópur hryggleysingja á eftir ánum og þar var ein tegund allsráðandi á báðum sýnatökustöðvunum.

Fábreytt lífríki í ferskvatni er oft til komið vegna álags á umhverfið svo sem vegna mengunar af völdum næringarefna eða snefilefna. Sumar tegundir eru þólnar gagnvart álagi sem getur t.d. hlotist af mengun, eða hafa hæfileika til að nýta sér betur ríkjandi aðstæður í umhverfinu en aðrar sem þær eru í samkeppni við um skilyrði til vaxtar, eins og rými, næringu eða ljós. Dæmi um það er hópur kísilþörunga, *Achnantheidium minutissimum*, sem eru þekktir fyrir að vera hraðvaxta við aðstæður þar sem aðrir kísilþörungar hafa horfið vegna einhverskonar álags í umhverfinu. Margar þörungategundir eru viðkvæmir fyrir lífrænni mengun, þá sérstaklega vegna aukningar á styrk fosfórs (PO_4) og ammóníums (NH_4). Styrkur þeirra efna var lágur í Grafarlæg þrátt fyrir að styrkur næringarefnisins nítrats (NO_3) hafi verið mjög hár miðað við það sem almennt gerist í ferskvatni á Íslandi. Umhverfisvísar sem þróaðir hafa verið til að greina áhrif næringarefnaálags á kísilþörunga (IPS (e. Specific Pollution Index) og TDI (e. Trophic Diatom Index) eru næmir fyrir aukningu á PO_4 og NH_4 en ekki fyrir aukningu á NO_3 og þar sem styrkur PO_4 og NH_4 var lágur í vatninu varð ekki mikið útslag á umhverfisvísunum í Grafarlæg.

Þörungar og smádýr í vatni eru undirstaða annars lífríkis í vatninu, svo sem fisks sem er ofar í fæðukeðjunni. Niðurstöður fiskrannsókna í Grafarlæg benda til að þar séu ekki ferskvatnsfiskstofnar af náttúrulegum uppruna því aðeins fundust þar tvær tegundir af fiskum, regnbogasilungur og flundra. Báðar tegundirnar eru tiltölulega nýjar í íslenskri náttúru. Regnbogasilungur var fyrst fluttur til Íslands um miðja síðustu öld til fiskeldis og flundra er nýr landnemi á Íslandi sem fyrst fannst í Ölfusá árið 1999 (Gunnar Jónsson o.fl., 2001). Regnbogasilungur veiddist á þeim tveimur stöðum sem rafveitt var á. Algengt er að regnbogasilungur veiðist í fersku vatni á Íslandi. Á árum áður var nokkuð um að regnbogasilungi væri sleppt í aflokuð vötn til stangveiði, t.d. Reynisvatn og Hvammsvík en aðallega er hann alinn upp til manneldis. Regnbogasilungur hrygnir að vori og hrognin klekjast út að hausti, ólíkt evrópskum laxfiskategundum sem hrygna að hausti og hrogn klekjast út að

vori. Vegna þessa er ólíklegt að seiði regnbogasilungs lifi af veturinn við íslenskar aðstæður jafnvel þó að hann nái að hrygna að vori. Regnbogasilungur sem veiðist í íslenskum vötnum er því í öllum tilfellum fiskur sem sloppið hefur úr eldi. Eldi á regnbogasilungi er víða stundað á Íslandi og meðal annars er regnbogasilungur alinn í útirtjörnum í eldisstöð sem staðsett er við Grafarlæk rétt ofan við Vesturlandsveg. Sá regnbogasilungur sem veiddist í Grafarlæk er því að öllum líkindum fiskur sem sloppið hefur frá þeirri eldisstöð. Í 19. grein reglugerðar um fiskeldi er tekið fram að í rekstarleyfi fiskeldisstöðva á landi skal kveða á um að gildistaka þess sé háð því skilyrði að stöð sé útbúin búnaði sem kemur í veg fyrir að fiskur sleppi úr eldiskari og búnaði staðsettum í frárennsli stöðvar sem fangar fisk sem sleppur. Flundra veiddist á neðstu stöðinni (3b) í Grafarlæk en sú stöð er um 70 m ofan við sjávarós lækjarins í Grafarvog. Flundra er flatfiskur og lifir á strandsvæðum en getur gengið upp í ferskvatn í fæðuleit yfir sumarið. Eftir að flundra fannst fyrst í Ölfusá á Suðurlandi hefur útbreiðsla hennar með ströndum Íslands verið hröð og finnst hún nú víða í ósum og ám sunnan-, vestan- og norðanlands.

Rannsóknin sem gerð var í Grafarlæk í september 2022 beindist meðal annars að líffræðilegum og eðlisefnafræðilegum gæðapáttum sem eru notaðir til flokkunar á vistfræðilegu ástandi straumvatns (lögum um stjórn vatnamála nr. 36/2011). Niðurstöður rannsóknarinnar benda til þess að Grafarlækur sé í *ekki viðunandi ástandi* (nEQR = 0,42). Það táknað að ástand Grafarlækjar sker sig verulega frá náttúrulegu ástandi sem búast má við að ríki í straumvatni af þeirri gerð sem Grafarlækur telst vera (RL3). Frekari rannsókna er þörf til að komast að orsökum þess. Lög um stjórn vatnamála ná yfir skilgreind vatnshlot og er markmið þeirra að öll vatnshlot séu í *mjög góðu* eða *góðu ástandi*. Sé ástandið lakara en *gott* þarf að fara í aðgerðir til að upphefja það. Grafarlækur er ekki skilgreint vatnshlot en er líkt og margir lækir í nágrenni Reykjavíkur undir álagi vegna nálægðar við þetta byggð. Sumir þeirra hafa verið skilgreindir sem vatnshlot, t.d. Kópavogslækur, Arnarneslækur og Hagakotslækur. Með sömu rökum mætti segja að skilgreina ætti Grafarlæk sem vatnshlot þar sem það er í nálægð við þetta byggð og er undir álagi af mannavöldum (fiskeldi/golfvöllur/afrennsli af götum) og bendir rannsóknin til að vistkerfi í læknum sé raskað miðað við það sem búast mætti við í óröskuðu/náttúrulegu straumvatni.

Að framangreindu má sjá að vistkerfið í Grafarlæk er óvenjulegt og vísir töluvert frá því sem búast mætti við í óröskuðu straumvatni á Íslandi. Efnastyrkur og lífmassi þörunga var hár, fábreytni var áberandi í tegundum/hópum þörunga og smádýra. Þar fundust einungis flundra og regnbogasilungur og erubáðar tegundirnar tiltölulega nýjar í íslenskri náttúru og þar af hefur önnur líklegast sloppið úr eldistjörn ofar á vatnasviðinu.

Þakkir

Ragnildur Þ. Magnúsdóttir og Jón S. Ólafsson sáu um greiningu á rykmýi í sýnum úr Grafarlæk og fá þau bestu þakkir fyrir hjálpina. Ragnildur fær einnig bestu þakkir fyrir yfirlestur skýrslunnar.

Heimildir

- Anderson, L.E. (1954). Hoyer's solution as a rapid permanent mounting medium for bryophytes. *The Bryologist* 57:242–243.
- Bey, M.-Y. & Ector, L. (2013). Atlas des diatomees des cours d'eau de la region Rhone-Alpes. Tome 1. Centriques, Monoraphidees. Tome 2. Araphidees, Brachyraphidees. Tome 3. Naviculacees: Naviculoidees. Tome 4. Naviculacees: Naviculoidees. Tome 5. Naviculacees: Cymbelloidees, Gomphonematoidees. Tome 6. Bacillariacees, Rhopalodiacees, Surirellacees. - Direction regionale de l'Environnement, de l'Amenagement et du Logement Rhone-Alpes, Lyon, 1182 bls.
- Borcard, D., Gillet, F. & Legendre, P. (2018). Numerical ecology with R. Önnur útgáfa. Springer, Cham, Sviss. 306 bls.
- Cantonati, M. Kelly, M.G & Lange-Bertalot, H. (ritstjórar). (2017). Freshwater benthic diatoms of central Europe: over 800 common species used in ecological assessment. English edition with updated and added species. Oberreifenberg: Koeltz Botanical Books, 943 bls.
- Cranston, P.S. (1982). A key to the larvae of the British Orthocladiinae (Chironomidae). Scientific publication No. 45. Freshwater Biological Association, Windermere Laboratory, Cumbria, England. 152 bls.
- Eydís Salome Eiríksdóttir, Sunna Björk Ragnarsdóttir, Gerður Stefánsdóttir, Fjóla Rut Svavarsdóttir, Svava Björk Þorláksdóttir. (2020a). Lýsing á viðmiðunaraðstæðum straum- og stöðuvatna á Íslandi. Skýrsla til Umhverfisstofnunar VÍ 2020-007/HV 2020-23/20004. 80 bls.
- Eydís Salome Eiríksdóttir, Sunna Björk Ragnarsdóttir, Gerður Stefánsdóttir, Agnes-Katharina Kreiling, Fjóla Rut Svavarsdóttir, Jón S. Ólafsson, Svava Björk Þorláksdóttir. (2020b). Vistfræðileg viðmið við ástandsflökkun straum- og stöðuvatna á Íslandi. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2020-42. 107 bls.
- Eydís Salome Eiríksdóttir. (2022). Leiðbeiningar um söfnun vatnssýna og mælingar með handmælum á eðlisefnafræðilegum gæðapáttum í straum- og stöðuvötnum. KV 2022-8. 13 bls.
- Friðþjófur Árnason, Þórólfur Antonsson og Sigurður Már Einarsson. (2005). Evaluation of single-pass electric fishing to detect changes in population size of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) juveniles. *ICEL. AGRI. SCI.* 18: 67-73.

- Gunnar Jónsson, Jónbjörn Pálsson og Magnús Jóhannsson. (2001). Ný fisktegund, flundra, *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758), veiðist á Íslandsmiðum. Náttúrufræðingurinn, 70 (2-3): 83-89.
- Iris Hansen og Eydís Salome Eiríksdóttir. (2021). Ástandsflokkun straumvatna út frá tegundasamsetningu kísilþörungna. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2021-11. 38 bls.
- Jón S. Ólafsson, Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir og Eydís Salome Eiríksdóttir. (2022). Leiðbeiningar um söfnun sýna til greininga á hryggleysingjum og púpuhömum rykmýs í straum- og stöðuvötnum. Kver Hafrannsóknastofnunar, KV 2022-13. 10 bls.
- Jón S. Ólafsson, Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir, Iris Hansen, Eydís Salome Eiríksdóttir, Ingi Rúnar Jónsson, Sigurður Óskar Helgason og Eydís Heiða Njarðardóttir. (2020). Lífríki tjarna við Straumsvík, á áhrifasvæði fyrirhugaðrar breikkunar Reykjanesbrautar. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2020-52. 53 bls.
- Lange-Bertalot, H. (2001). *Navicula sensu stricto 10 Genera Separated from Navicula sensu lato Frustulia*. Í Lange-Bertalot, H (ritstj.), *Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*. 2. hefti. Königstein: A.R.G Gantner Verlag L.G., 526 bls.
- Lecointe, C., Coste, M. og Prygiel, J. (1993). "Omnidia": software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia*, 269-270, 509-513.
- Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir, Jón S. Ólafsson og Eydís Salome Eiríksdóttir. (2022). Leiðbeiningar um söfnun sýna til mælinga á blaðgrænu a í straum- og stöðuvötnum, auk mælinga á blaðgrænu a með handmæli. Kver Hafrannsóknastofnunar, KV 2022-10. 12 bls.
- Schmid, P.E. (1993). A key to the larval Chironomidae and their instars from Austrian Danube region, streams and rivers with particular reference to a numerical taxonomic approach. Part I, Diamesinae, Prodiamesinae and Orthocladiinae. *Wasser und Abwasser, suppl. 3/93*. Federal Institute for water quality in Wien – Kaisermühlen. 514 bls.
- Umhverfisstofnun. (2019). Reglubundið eftirlit 17.05.2019 hjá Wolfgang Pomorin. Sótt á vef UST 1. júní 2022. <https://ust.is/library/Skrar/Einstaklingar/Mengandi-Starfssemi/Fiskeldi/Reglubundi%C3%B0%20eftirlit%20hj%C3%A1%20Wolfgang%20Pomorin.pdf>.
- Veðurstofa Íslands. (2023). Sótt af vef Veðurstofu Íslands 27.06.2023. <http://vmkerfi.vedur.is/vatn/vdv.php/historical/313>.

Wiederholm T. (ritstj.). (1983). Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses. Part 1 – Larvae. Ent. Scand. Suppl. 19: 1–457.