



ÁHRIF LANDRÆNNA ÞÁTTA Á LÍF Í STRAUMVÖTNUM

Lífivist straumvatna lýtur áhrifum fjölmargra þátta sem rekja má til vatnasviðseinkenna. Jarðfræði vana sviðsins hefur áhrif á viðdvöl grunnvatus í jarðlögum, sem ræður miklu um útleysingu efna. Útleysing efna er hröðust í nýlegum jarðmyndunum, en þær hleypa einnig úrkomunni niður í jarðlögin, þar sem hún getur haft langa viðdvöl og þar með góðan tíma til að taka upp steinefni. Eldri jarðmyndanir eru yfirleitt þéttari og innihalda lítið af lausum jarðefnum, og þar skilar úrkomun sér því eftir skamma viðdvöl í næsta lækjar drag. Hins vegar eru gamlar jarðmyndanir einatt grónari og með þykkari jarðveg en þær yngri. Í skrifum um lífvist

straumvatna er yfirleitt gerð grein fyrir helstu jarðfræði- og landfræðipáttum en sjaldnast dregnar af þeim nema mjög almennar ályktanir. Hér verður reynt að varpa ljósi á tengsl milli helstu einkenna vatnasviðs straumvatna og lífríkis þeirra. Safnað hefur verið gögnum um áburðarefni í vötnum, þéttleika og fjölbreytileika botndýra og laxveiðar í ám á Íslandi og þau borin saman við vatnasviðseinkennin.

■ JARÐFRÆÐI

Jarðfræði og landslag vatnasviða ákvarða ýmis mikilvæg einkenni straumvatna, svo sem gerð farvegjar, rennsliseiginleika og efnainnihald árvatnsins. Ísland er aðallega byggt upp af basaltgosefnum, sem að mestu hafa komið upp á löngum sprungurcinum. Virku gosbeltin eru á mótum tveggja jarðskorpufleka sem fjarlægjast hvor annan og skipta landinu í misgömul beltí. Þau elstu eru til jafnanna í austri og vestri og talið er að elsta berg á Austfjörðum og Vestfjörðum sé um 13–14 milljón ára gamalt (Þorleifur Einarsson 1991). Elstu bergmyndanir frá tertíer (>3 milljón ára) eru á Austfjörðum, Vestfjörðum, Vesturlandi og á Norðurlandi

Hákon Adalsteinsson lauk fil.kand.-prófi í vatnafræði frá Uppsala háskóla 1974 og varði Ph.D.-ritgerð um svif í Mývatni við sama skóla 1979. Hákon starfar sem fagstjóri umhverfismála á Orkustofnun.

Gísli Már Gíslason lauk B.S.-prófi í líffræði frá Háskóla Íslands 1973 og 4. árs framhaldsnámi í vistfræði frá HÍ sama ár. Hann varði Ph.D.-ritgerð um vistfræði íslenskra vorflugna við háskólann í Newcastle upon Tyne, Englandi, 1978. Gísli er prófessor í vatnalíffræði við Háskóla Íslands.



1. mynd. Upptök Austurkvíslar (Skálakvíslar) Vestari Jökulsár. Hákon Aðalsteinnsson að efnamæla leysingavatu sem sprettur upp við jökulsporð Sátujökuls. – Origin of the glacial river W-Jökulsá. Hákon Aðalsteinnsson measuring chemicals in the meltwater at the snout of the Glacier Sátujökull. Ljósmynd/Gísli Már Gíslason.

jarðmyndanir. Víðlend láglandis- og heiðasvæði tilheyra hinum tertíeru jarðmyndunum, einkum á Norðvestur- og Vesturlandi.

Á kuldaskiðum á ísöld ruddu jöklar miklu laus efni til sjávar og því er hula lausra jarðefna fremur þunn og vatnsgeymd jarðlaga lítil. Af því leiðir að grunnvatnsstreymi er aðallega um berggrunninn (Freysteinn Sigurðsson 1993).

vestan Skjálfaða, en þær yngstu, þ.e. nútínahraun og gjóska (yngri en um 10 þúsund ára), eru á virku gosbeltunum. Þar á milli eru árkvarterar myndanir (0,8 til 3 milljón ára) næst tertíer-

um myndunum og síðkvarterar (10–800 þúsund ára) næst nútíma myndunum. Flest móbergs-svæði eru síðkvarter, svo sem fjallgarðar austan Jökulsár á Fjöllum og hryggirnir við Tungnaá og Skaftá. Mestallt fjallendi um miðbik landsins tilheyrir síðkvarterum jarðmyndunum. Annað fjallendi er að mestu tertíerar

Einnig eru fjöll berangursleg og jarðvegsþekja fjallshlíða þunn eftir ellefu hundruð ára búsetu. Lekt berglaga minnkar með aldri þeirra og vaxandi ummyndun.



2. mynd. Unnið að sýnatöku í Austurkvísl Vestari Jökulsár, 500 m frá jökulsporði. – Sampling benthos in W-Jökulsá, 500 m from the glacier snout. Ljósmynd/Gísli Már Gíslason.

Ofantaldar að-
stæður valda því
að grunnvatns-
geymd og grunn-
vatnsstreymi um
elstu berglögin
er lítið, en oft
mjög mikið í nú-
tíma jarðmynd-
unum

FARVEGIR

Farvegir mótast af rennsli, halla, framburði og botngerð (Davíð Egilson o.fl. 1991). Ár skiptast í þrjá meginflokkka eftir gerð farvega: beinar, álóttar (kvíslóttar) og bugðóttar ár.

Hver á skiptist gjarnan í kafla þar sem mismunandi gerðir farvega geta skipst á.

Beinar ár: Halli yfirleitt meiri en 5 m/km. Þær renna iðulega á klöppum eða stórgrýti. Rennsli og halli ráða mestu um hve stórgrýttur botninn verður. Efri hluti Brúarár er skýrt dæmi um beina á.

Álóttar ár: Þær verða einkennandi þar sem halli er 1–5 m/km og þar sem áin getur breitt úr sér. Botnefni er yfirleitt sandur eða mól, kornastærð einsleit og binding efnis léleg. Framburður er oft mikill. Í jökulánni Skaftá eru víða álóttir kaflar og meðal dragáa er Svarfaðardalsá ágætt dæmi um álóttu á.

Bugðóttar ár: Þar sem halli er minni en 1 m/km og framburður lítill verða ár gjarnan bugðóttar. Botnefni er einkum sandur eða fínkornaðra efni. Þekktustu ár af þessari gerð eru Reykjadalssá í Borgarfirði og Fnjóská.

Beinir og álóttir farvegir eru algengari en bugðóttir, og eru ástæður þess m.a. þær að landið er víða sundurskorið af sprungum og misgengjum og halli lands er víðast hvar



3. mynd. Vestari Jökulsá í upphafi vetrar. Lág vatnsstaða og tært vatn einkenna ána. Um sumarið náði vatnið nærri að flugnagildrunni, sem notuð er við söfnun á fljúgandi skordýrum. – Glacial river W-Jökulsá at onset of winter. Low water level and clear water characterize the river. In the summer, the water reached the window trap used for catching flying insects. Ljósmynd Gísli Már Gíslason.

mikill vegna örrar (nýlegrar) upphledslu og mikils magns af fremur auðrofnu efni.

RENNSLISEIGINLEIKAR

Rennsliseiginleikar straumvatna eru afar misjafnir og fara eftir jarðgerð á vatnasviði þeirra. Ám hefur verið skipt upp í jökulár, dragár og lindár á grundvelli uppruna rennslisins (Guðmundur Kjartansson 1943).

Jökulár koma frá jöklum vegna bráðunar þeirra (1. og 2. mynd). Þær eru mestar að sumrinu og flytja þá með sér mikinn aur undan jöklunum. Á veturna eru þær oftast mjög vatnslitlar og iðulega nærri tærar (3. mynd). Hvergi er breytileikinn meiri í rennsli en í jökulám. Aurinn gerir það að verkum að botninn nýtur takmarkaðrar birtu og í þeim má gera ráð fyrir að það grófasta af aurnum skriði með botni og hvítskúri steinana þar sem botninn er grófur. Grugg og botnskríð takmarkar möguleika þörunga til að þrífast.

Dragár verða þar sem grunnvatnsrennsli



ekki óalgengt að langtímabreytingar á ársmeðalrennsli séu um 20% (Árni Snorrason 1990).

Leysingaflóð á vorin og fyrri hluta sumars eru einkennandi fyrir dragár en eru einnig mikilvæg í öllum öðrum vatnsföllum. Stærð vatnasviðs og snjóalög ákvarða umfang og tíma þeirra, og ráða þar mestu landhæð og hvort árnar eru sunnan eða norðan heida.

4. mynd. Vattardalsá, dragá í Vattarfirði í A-Bardastrandarsýslu. Áreyrnar benda til að rennsli árinna sé óstöðugt. Í baksýn er fjöllótt vatnasviðið. – The direct run-off river Vattardalsá in the Westfjord district. The gravel banks indicate unstable discharge. The mountainous catchment in the background. Ljósmynd Gísli Már Gíslason.

er lítið og þær eru því einkennandi á tertíerum og árkvarterum berggrunni, einkum þar sem brattlent er, svo sem á Austfjörðum, Vestfjörðum og hálendinu milli Skjálfanda og Skagafjarðar (4. mynd). Á láglandi og grónum heidum, þ.e. á fremur flötu landi, þar sem áhrifa gætir frá lausum jarðlögum, jarðvegi og stöðuvötnum, dregur oft mikið úr áhrifum hins þetta berggrunns á rennslið. Dragár verða oft foráttuvatnsföll í leysingum á vorin en geta orðið mjög vatnslitlar á þurrkatímum og að vetrinum í langvarandi frostum. Vegna mikilla rennissveiflna má búast við því að botn dragáa sé fremur óstöðugt búsvæði.

Lindár eru algengastar á jöðrum hins leka berggrunns gosbelta á móbergs- og grágrýtissvæðum (5. og 6. mynd). Oft má rekja upptök þeirra til sprungukerfa (Freysteinn Sigurðsson og Kristinn Einarsson 1988, Freysteinn Sigurðsson 1990). Botn lindáa er mun stöðugra búsvæði en botn jökuláa og dragáa. Rennsli lindáa tekur yfirleitt litlum breytingum milli árstíða og ára, en þó er

EFNAINNIHALD

EFNASTYRKUR Í ÚRKOMU

Úrkoma sem fellur á landið er almennt fremur efnasnaud. Leiðni er mælikvarði á jónstyrk vatnsins; því hærri sem jónstyrkur er þeim mun betur leiðir vatnið rafstraum. Mælingar á leiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$) vatns er handbæg og ódýr aðferð til að meta heildarmagn uppleystra efna. Sigurður Guðjónsson (1990) lýsir þessu sambandi, samkvæmt mælingum í 53 straumvötnum, með líkingunni

$$\text{Leiðni } (\mu\text{S}/\text{cm}) = -1,69 + 1,51(\text{mg}/\text{l})$$

$$\text{Uppléyst efni } (\text{mg}/\text{l}) = 1,08 + 0,64 \mu\text{S}/\text{cm}$$

$$r = 0,89; p < 0,001 (\text{mjög marktæk fylgni}).$$

Mælingarnar spanna vítt svið í efnastyrk, eða u.þ.b. 20–110 mg/l, og virðast leiðni-mælingar gera uppleystum efnum í yfirborðsvatni góð skil óháð uppruna þess.

Á fjalllendi inn af Suðurfjörðum Austfjarða hefur leiðni í vatnsföllum mælst allt niður í 12 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nærri upptökum en 20–30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í sömu ám á láglandi (Hákon



5. mynd. Laxá í Suður-Þingeyjarsýslu við Birningsstaðaflóa. Grónir bakkar benda til stöðugs rennslis árinna. Vatnshæðarmælir til hægri á myndinni. – The spring/lake-fed river Laxá in S-Thingeyjarsýsla. The picture is taken about 27 km below Lake Mývatn, the source of the river. Well-vegetated banks indicate the stable discharge in the river. Gauging station for discharge to the left. Ljósmynd Gísli Már Gíslason.



6. mynd. Lindáin Miðhlutará á Hofsafrétt með gróna bakka, sem sýnir að rennslí árinna er stöðugt. – The spring-fed river Miðhlutará, a tributary to W-Jökulsá in the highlands south of Skagafjörður. Well-vegetated banks indicate a stable discharge. Ljósmynd Gísli Már Gíslason.

Tafla 1. Nokkrar mælingar á leiðni í ám á Austfjörðum 9.–12. september 1995, samanborið við flatarmál gróðurlendis, þ.e. vel gróins lands. – Conductivity of rivers in the East compared with area of vegetation cover in the catchment areas.

Vatnsfall-stöð/River-station	Leiðni/ Conductivity μS/cm	Gróið vatnasvið/ Vegetation cover km ²	Vatnasvið alls/ Total catchment area km ²
Geithellnaá, ofan Þjóðvegur	30	33	187
– gegnt Virkishólasei	27	30	166
– við Skálahvamm	21	11	100
– um 1 km frá dalbotni	17	2	86
Hamarsá, við gömlu brúna	31	28	273
– við Steiná	24	22	213
Fossá, Berufirði ofan foss	30	12	113
Norðfjarðará við Grænanes	42	41	106
– ofan Seldalsár	32	18	58
– Fannardalur	28	5	31

Aðalsteinsson 1995, Ingi Rúnar Jónsson og Guðni Guðbergsson 1993, þessi rannsókn, I. tafla). Þær athuganir sem hér er vitnað til og gerðar voru á mismunandi tímum benda til að á Austfjörðum sé leiðni í úrkomu sem fellur inn til landsins líklega almennt nálægt 10 μS/cm. Ein mæling á regnvatni við Nautöldu í Þjórsárverum gaf leiðnina 11,5 μS/cm (12.06.1974). Efnainnihald úrkomu fer m.a. eftir sjávarseltu og gæti því leiðni í úrkomu verið talsvert hærri úti við ströndina, svo sem stakar mælingar benda til; 53 μS/cm í læk við Unaós við Héraðssand (300 m y.s.) og 44 μS/cm í læk við Gerpisvatn (450 m y.s.). Af fjallendi milli fjarda á Vestfjörðum rennur vatn með leiðni á bilinu 50–60 μS/cm (2. tafla). Sýrustig (pH) úrkomu hérlendis er tíðast á bilinu 5–6, að meðaltali um 5,4 (Sigurður R. Gíslason 1993).

Nægilegt framboð næringarefna er mikilvægt frumbjarga lífverum. Af ólífrænum næringarefnum eru nitur (N) og fosfór (P) líklegust til að takmarka framleiðni þeirra. Líklega er kísill (Si) ekki takmarkandi í straumvötnum, svo mikill er styrkur hans og aðburður samanborið við upptöku í þörungum. Uppruni niturs (N) er í andrúmslofti en fosfórs (P) og kísils (Si) í bergi. Til eru

mælingar á meðalstyrk niturs í úrkomu og var hann að meðaltali 124 μg/l, en reiknaður meðalstyrkur fosfórs um 1,5 μg/l (Sigurður R. Gíslason o.fl. 1996). Þetta er tvöfalt á við styrk niturs í lindavatni við Mývatn og Þingvallavatn (Jón Ólafsson 1979, 1992) og í lindum við Tungnaá (Sigurbjörn Einarsson og Hákon Aðalsteinsson 1991). Af því virðist mega draga þá ályktun að jafnvel á fremur gróðurlitlum vatnasvæðum skili aðeins helmingur niturákomunnar sér til grunnvatnsins en hinn helmingurinn bindist jarðvegi og gróðri. Þetta er mjög í samræmi við útreikninga Sigurðar R. Gíslasonar o.fl. (1996), sem komust að þeirri niðurstöðu að aðeins helmingur niturs í úrkomu skili sér til áa á Suðvesturlandi.

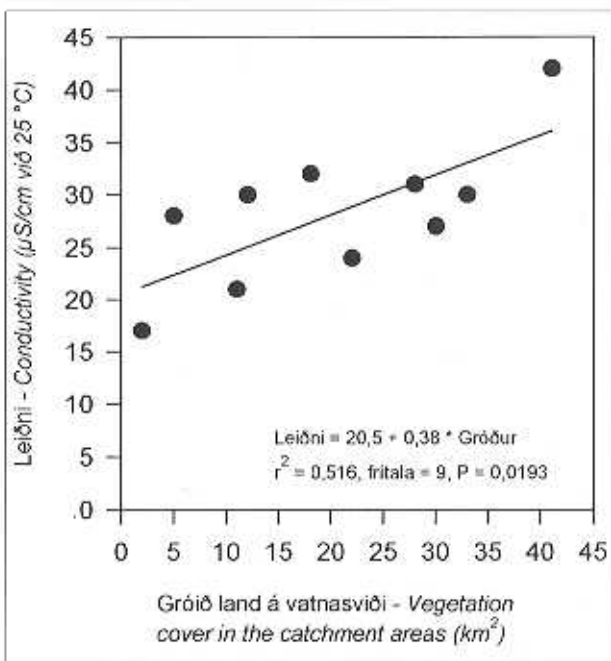
EFNASTYRKUR Í STRAUMVÖTNUM

Samkvæmt rannsóknum Sigurðar R. Gíslasonar og Stefáns Arnórssonar (1988) er hraði efnarofs hérlendis með því mesta sem gerist í heiminum, bæði sökum mikillar úrkomu og afrennslis og berggerðar landsins. Vegna mikillar úrkomu og afrennslis skilar efnarofið sér þó ekki í samsvarandi háum efnastyrk í árvatni, sem þeir áætla að sé nokkuð undir heimsmeðaltali. Það tekur

loftmettað úrkomuvatn sem er látið hvarfast við basalt skamman tíma að hækka pH-gildi sitt úr 5,6 í um 7 (Sigurður R. Gíslason og H.P. Eugster 1987a). Hliðstæð efnahvörf eiga sér stað þegar hið efnasnauda úrkomuvatn hripar niður í gegnum gróðursvörð og jarðveginn undir honum, þar sem það tekur upp koldíoxíð og myndar kolsýru. Þegar vatnið síðan heldur áfram um jarðveg og berglög á leið sinni til yfirborðsins aftur, skiptir það út vetnisjónum kolsýrunnar á móti steinefnum, pH hækkar og sömuleiðis steinefnastyrkur.

Mælingar á leiðni í nokkrum ám á Austfjörðum sýna þetta glögg. Styrkur steinefna í vatninu hækkar eftir því sem fjær dregur upp-tökum og gróður eykst. Mjög marktæk fylgni var milli leiðni og flatarmáls gróins lands, þ.e. lands þar sem gróður þakti a.m.k. 50% svæðisins (7. mynd, 1. tafla), ($r^2 = 0,516$, frítala = 9, $P = 0,00193$). Aftur á móti var ekki fylgni milli leiðni og stærðar vatnasviðsins ($r^2 = 0,044$, frítala = 9, $P = 0,903$), sem gefur til kynna þátt jarðvegs og gróðurfars í að losa steinefni í árnar.

Hliðstætt samband og lýst er í 1. töflu og á 7. mynd má greinilega merkja af samanburði á koldíoxíðstyrk, pH og leiðni í ám á Héraði, eftir því hvort aðrennslið er upprunnið í



7. mynd. Nokkrar mælingar á leiðni í ám á Austfjörðum í september 1995 bornar saman við flatarmál gróðurlenda, þ.e. vel gróins lands. – Comparison of conductivity at different sampling stations in rivers in Eastern Iceland and their vegetation cover.

fjalllendi eða á heiðum og láglendi, samkvæmt mælingum í ágúst 1980. Styrkur koldíoxíðs hækkar úr 5–10 mg/l í árvatni af fjalllendi í 20–50 mg/l í árvatni af heiðum og láglendi, pH úr 6,9–7,1 í 7,4–7,8 og leiðni úr um 20 í 50–125 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Náði samband er milli hækkingar styrks kolefnisjóna og leiðni (Hákon Aðalsteinsson 1982). Fyrr á vorin má búast við enn lægri pH-gildum á meðan

Landsvæði/Area	Dags./Date 1974	pH	Leiðni/Conductivity
Vestfirðir/Westfjords:			
Breiðadalsá	21.08.	5,8–6,8	51–69
Ár á Barðaströnd	18.–19.08.	7,3–7,5	38–48
Dynjandisá á Glámu	19.08.	7,2	27
Austfirðir/East:			
Bakkaá, Borgarfirði	21.05.	6,8	40
Grímsá á Völlum	21.05.	6,7	40
Eskifjarðará	22.05.	6,1	
Norðfjarðará	22.05.	6,2	

Tafla 2. Nokkrar mælingar á pH og leiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$) í ám á Vestfjörðum og Austfjörðum. – pH and specific conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$) in rivers in the Westfjords and the East.

Tafla 3. pH og leiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$ við 25°C) í ám af mismunandi vatnasviðum. – pH and conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$ at 25°C) in rivers in different types of catchment areas.

	Sýrustig pH	Leiðni $\mu\text{S}/\text{cm}$
Regnvatn/Rain water	4,2–6,9	~10
Lindavötn á yngri móbergsmýnduninni/Spring-fed rivers of younger palagonite formation		
Suðvesturland/South-West (1.1)*	7,1–8,9	54–105
Suðurland/South (1.2)	6,9–10,3	124–214
Norðausturland/North-East (1.3)	7,7–9,7	111–192
Dragvötn á eldri móbergsmýnduninni/Direct run-off rivers of the older palagonite formation (2)	7,3–8,2	51–92
Heiðavötn/Run-off rivers from the highland wetlands		
Heiðar vestan Langjökuls/West & North-West (3.1)	7,4–8,1	38–108
Dalavötn/Run-off rivers from relatively deep lakes		
Vesturland/South-West (4.1)	7,1–7,2	65–73
Dragvötn á blágrýtismýnduninni/Direct run-off rivers of the Tertiary basalt formation		
Vestfirðir/Westfjords (5.1)	5,8–7,5	27–69
Austfirðir/East (5.3)	6,1–7,2	11–53
Jökulár/Glacial rivers		
Norðurland/North	6,1–7,8	9–84
Suðausturland/South-East	7,9–8,1	28–50
Suðurland/South	6,4–7,6	19–88

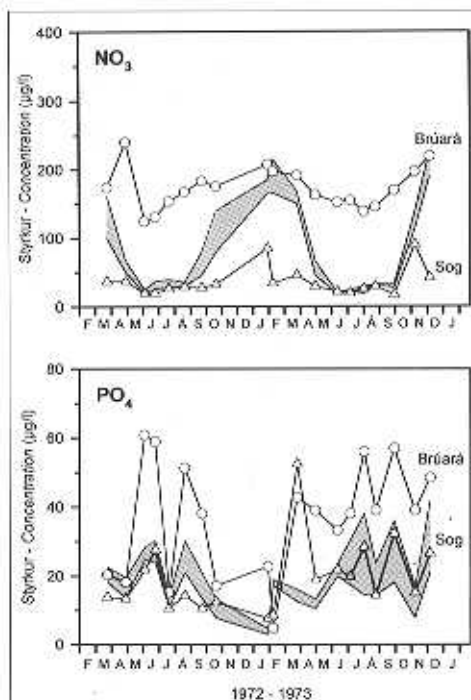
*Tölurnar innan sviga vísa til svæðisnúmera í vistfræðilegri flokkun íslenskra vatna eftir Arnþór Garðarsson (1979).

leysingar standa yfir (2. tafla), og pH helst lágt í Breiðadalsá á Vestfjörðum fram eftir sumri, líklega vegna þess hve snjóa leysir þar seint.

Glerkennt berg, eins og t.d. móberg, eldfjallaaska og gjall, leysist mun hraðar en kristallað berg með sömu efnasamsetningu (Sigurður R. Gíslason og H.P. Eugster 1987a, Sigurður R. Gíslason og Stefán Arnórsson 1988). Af þeim sökum og vegna þess langa tíma sem vatn er í snertingu við jarðlög, eru vatnsmiklar lindir sem eru í tengslum við nútíma jarðmyndanir og móbergssvæði mun efnaríkari en yfirborðsvatn á svæðum innan blágrýtismýndunarinnar (3. tafla). Þetta telja Sigurður R. Gíslason o.fl. (1996) að geti skýrt hærri styrk fosfórs í ám á Suðurlandi en í

Borgarfirði (8. og 9. mynd), eins og síðar verður vikið að, þótt fleira geti komið til.

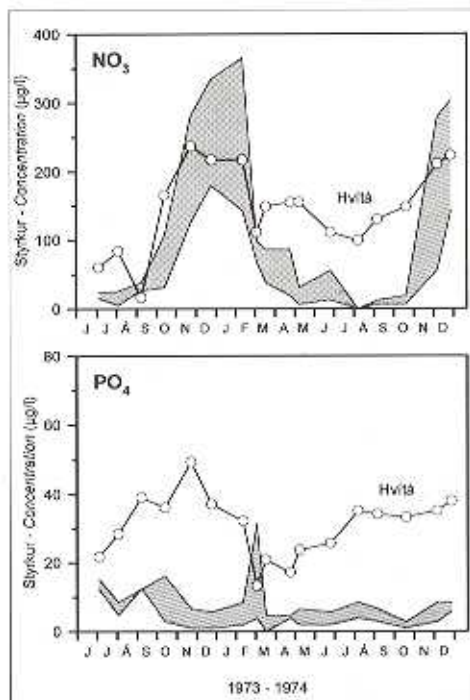
Efnarannsóknir á grunnvatni hérlendis eru umtalsverðar (Sigurður R. Gíslason og H.P. Eugster 1987b, Freysteinn Sigurðsson og Kristinn Einarsson 1988, Freysteinn Sigurðsson 1990), en yfirlit um efnaræði árvatns eru enn að mestu bundin við ár á SV-landi (Halldór Ármannsson 1970, 1971, Halldór Ármannsson o.fl. 1973 og Sigurjón Rist 1974, 1986). Um árabíl hafa verið tekin sýni úr jökulám og dragám til greiningar á framburði þeirra, m.a. heildarstyrk uppleystra efna. Virðist mega skipta ám í nokkra flokka hvað varðar heildarstyrk efna. Dragár á blágrýtissvæðum (tertiér) með upptök í



8. mynd. Árstíðabundinn breytileiki í styrk nitrats og fosfats í ám á Suðurlandi. Skyggðu svæðin lýsa breytileika næringarefnanna í dragánum Fossá við Jadar og Stóru-Laxá (við brú) og til samanburðar er styrkur efnanna í lindánum Brúará við Efstadal og Sogi, þ.e. útrennslu Þingvallavatns. – Range of annual concentrations of nitrates and phosphates in the run-off rivers Fossá and Stóra-Laxá, and the spring-fed rivers Brúará and Sogi in S-Iceland. Based on Halldór Ármannsson et al. (1973) and Sigurjón Rist (1974).

fjalllendi eru tíðast með efnastyrk á bilinu 20–30 mg/l. Ár sem koma upp í grágrýtis-mynduninni (árkvarter) eru tíðast með efnastyrk á bilinu 30–50 mg/l og á svipuðu róli eru ár á blágrýtissvæðum með uppruna á láglandum grónum heidum. Lindár af móbergs- og hraunasvæðum eru tíðum með efnainnihald á bilinu 40–70 mg/l (Svanur Pálsson og Guðmundur Vigfússon 1996) og hærri tölur sjást sjaldan nema þar sem jarðhitaáhrifa eða áhrifa af eldvirkni gætir (Sigurður R. Gíslason o.fl. 1992).

Flestar mælingar á fosfór í uppruna-



9. mynd. Árstíðabundinn breytileiki í styrk nitrats og fosfats í ám í Borgarfirði. Skyggðu svæðin lýsa breytileika næringarefnanna í nokkrum dragám í Borgarfirði (Grímsá við Fossatún, Flókadalsá v. brú, Þverá v. brú og Nördurá við Stekk. – Range of annual concentrations of nitrates and phosphates in the run-off rivers Grímsá, Flókadalsá, Thverá and Nördurá, and the river Hvítá (mainly spring-fed at this site) in Borgarfjörður district (W-Iceland). Based on Sigurjón Rist (1986).

drögum straumvatna eru af lindasvæðum. Fosfór er snefilefni í slíku vatni og styrkur þess í upplausn breytist fljótt eftir að komið er í yfirborðsvatn, fyrir áhrif upptöku gróðurs og sets og síðar rotnunar. Fyrir vikið er oft erfitt að vita nákvæmlega hvaða ástandi niðurstöðurnar lýsa. Því vinnst lítið með stökum mælingum á fosfór. Búast má við samsvörun milli styrks fosfats í upprunavatni ár og uppleystra efna, en sú samsvörun er án efa breytileg milli vatnakerfa. Leiðni endurspeglar ekki styrk niturs í úrvatni, þar sem hann er ekki jarðrænn að uppruna.

EFNI NAUDSYNLEG GRÓÐRI

Styrkur niturs og fosfórs er mikilvægur fyrir vöxt og viðgang gróðurs í straumvötnum. Hann er breytilegur milli árstíða og þarf að mæla styrk efnanna reglulega til að átta sig á þýðingu þeirra. Árstíðabundinn breytileiki er háður styrk efnanna í aðrennsli ána og hve mikið binst gróðri á sumrin umfram það sem losnar. Þetta kemur ljóslega fram á styrk þessara efna í Elliðaánum, Þjórsá, Hvítá í Árnassýslu og þverám þeirra og ána í Borgarfirði (Halldór Ármannsson 1970, 1971, Halldór Ármannsson o.fl. 1973 og Sigurjón Rist 1974, 1986).

Yfir veturinn, þegar framleiðsla er engin í ánum, er styrkur nitrats í þeim hárf (>200 µg/l), nema í Soginu (<100 µg/l) (8. mynd). Í Soginu verður nitratið að miklu leyti eftir í Þingvallavatni og verður hluti af seti þess. Í dragánum minnkar nitratið yfir sumarið í um einn tíunda þess sem það var yfir veturinn, en breytist lítið í lindánni (Brúará). Árstíðabreytileiki er mun minni í styrk fosfats. Lindánn er alltaf með hærri styrk en dragánnar og Sogið.

Nítratstyrkur í dragánum í Borgarfirði er mun breytilegri en í ánum á Suðurlandi (9. mynd). Hæstu gildin yfir veturinn eru frá um 180 upp í 380 µg/l, hæst í Norðurá og Þverá. Lægst verða gildin um mánaðamótin júlí-ágúst (<2 µg/l). Lindavatnið hefur svipaða eiginleika og í Brúará, tiltölulega jafnan styrk allt árið en þó heldur breytilegri, enda er Hvítá við Kljáfoss dálítið blönduð að uppruna miðað við Brúará.

Styrkur fosfats er almennt mun lægri allt árið í dragánum í Borgarfirði en á Suðurlandi en þó sérstaklega á vaxtartíma gróðurs. Styrkur þess er svipaður lægstu nítratgildunum, en þörungar taka upp nær tífalt meira af nitri en fosfór. Mælingar í Grimsá og Norðurá 3. september 1996 benda til að fosfór sé þó frekar takmarkandi, en þá reyndist styrkur fosfórs vera svo lítill að hann mældist ekki (<1,5 µg/l) en nítrat var á sama tíma 20–25 µg/l. Sú niðurstaða er í samræmi við túlkun Sigurðar R. Gíslasonar o.fl. (1996).

Aðrennslissvæði dragánna í Borgarfirði eru að mun stærri hluta grónar vottlendar lágheidar en aðrennslissvæði dragánna á

Suðurlandi. Styrkur næringarefna í drögum sem koma af slíku landi er háður efnabúskap í gróðurlendi heiðanna. Yfir veturinn má búast við mikilli útleysingu nitrefna en á sumrin að gróðurlendin taki upp öll áburðarefni sem þau komast í tæri við, og eigi það ríkari þátt í lágum styrk þeirra en upptaka í sjálfri ánni. Binding fosfats í jarðvegi og seti er mun sterkari en samsvarandi binding niturs og gæti það átt þátt í að skýra hversu miklu minna virðist skila sér af fosfór til ána í Borgarfirði en á Suðurlandi, en Sigurður R. Gíslason o.fl. (1996) benda einnig á jarðfræðilegar forsendur sem getu skýrt þennan mismun, þ.e. hægari útleysingu fosfórs úr tertíeru basalti á vatnasviði dragánna á Vesturlandi samanborið við yngri síðkvarterar myndanir á Suðurlandi.

■ FRAMLEIDNIFORSENDUR

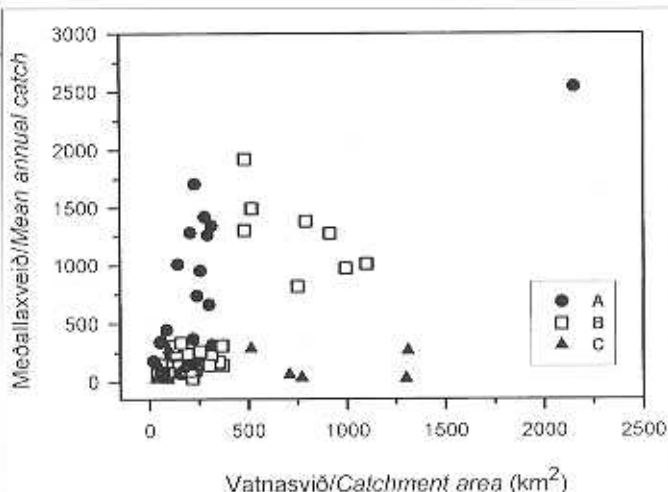
Straumvötn eru að ýmsu leyti frábrugðin stöðuvötnum varðandi aðgengi gróðurs að næringarefnum. Í stöðuvötnum eru straumar oft mjög litlir og dreifing og flutningur næringarefna því tíðum takmörkunum háð. Þannig getur vatn staðnað neðan ljóstillifunarbeltis eða umhverfis þörungum og næringarefni, sem uppleyst eru í vatninu, þorrið næst þeim, einkum við lágan styrk næringarefna. Í straumvötnum er stöðugur aðburður næringarefna með vatninu. Fyrir vikið eru mun minni líkur á að styrkur þeirra verði lægri en sem nemur lágmarksupptöku hjá þörungum.

Áhöld eru einnig um það hve miklu styrkur næringarefna skiptir fyrir upptöku þeirra í þörungum. Í upphafi tilrauna til að rekta þörungum á rannsóknastofu við mismunandi styrk næringarefna uxu þeir ekki eins og búist var við í „hreinu“ vatni þótt nóg væri af næringarsöltum. Þörungar eru fæstir, ef nokkrir, frumbjarga lífverur í bókstaflegum skilningi. Þeir þurfa lífræn efni, t.d. ýmis vítamín (Fogg 1965). Lífræn efni gegna margvíslegu hlutverki, svo sem að halda snefilefnum, t.d. málmmum, í upplausn og auðvelda upptöku þeirra. Binding ýmissa efna, svo sem málma, í flókin lífræn efna-

sambönd kemur í veg fyrir að þau nái þeim styrk í upplausn að þau valdi eitrun. Í tilraunum þar sem líkt var eftir aðstæðum í straumvötnum, og notað var annars vegar hreint vatn með upplausn helstu næringarefna og hins vegar skólp með tilsvarendi styrk næringarefna, sýndi það sig að lífræni þátturinn skipti sköpum fyrir vöxt og viðgang þörunga (Wuhrmann 1974).

Þetta markar einnig mikilvægan mun á stöðuvötnum og straumvötnum. Stöðuvötn eru lokuð vistkerfi í samamburði við straumvötn, með reglulegri bringrás lífrænna og ólífrænna efna, en straumvötnin eru opin vistkerfi, sem eru háð stöðugum aðburði efna. Líta má á straumvatn í heild sem opið vistkerfi, einkum næst upptökum. Þegar neðar dregur í á, ákvarðast lífríkið af því sem gerist ofar. Þótt lítið sé af utanaðkomandi aðburði lífrænna efna í sum straumvötn framleiða þau sín eigin efni sem losna og flytjast niður eftir ánni og verka auðgandi þar. Framleiðniforsendur straumvatna eru þannig mismunandi. Sum straumvötn hafa frá upphafi allar forsendur til lífrænnar framleiðslu en aðrar ár þurfa að búa þær til eða eru háður aðburði vaxtarhvetjandi efna þegar þær koma niður á láglendi (Vannote o.fl. 1980).

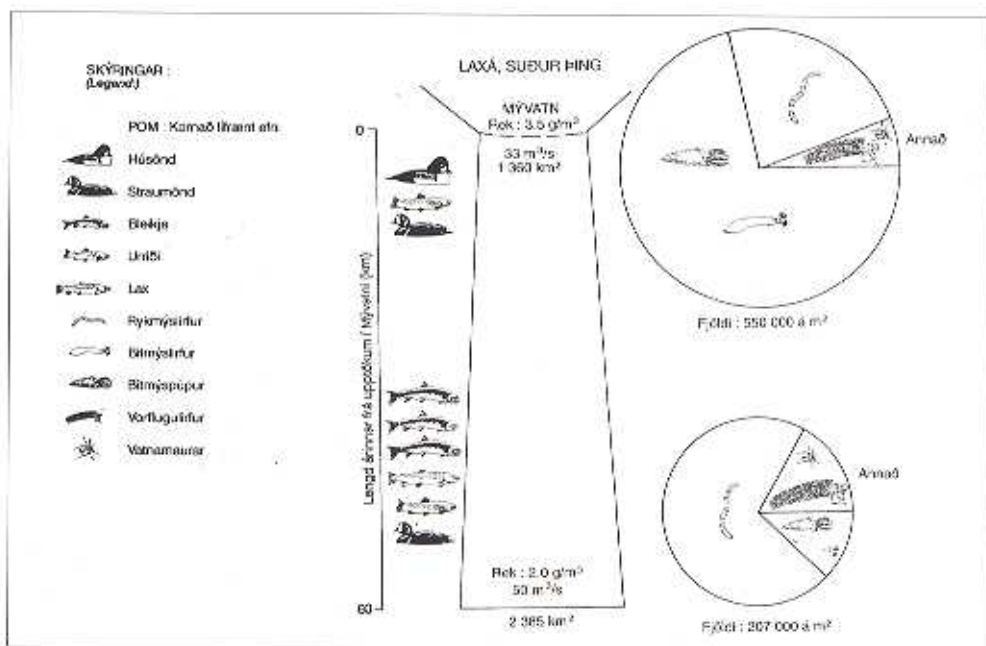
Líta verður á næringarefnaaðburð frá víðu sjónarhorni, þ.e. skoða bæði næringarsölt og lífræn efni af fjölbreyttum toga. Aðrennslissvæði straumvatna er mikilvægt vegna áhrifa þess á rennsliseiginleika þeirra og ekki síður vegna áhrifa þess á lífræna framleiðslu. Fyrir þá þætti sem hér eru til umræðu skipta þekja og gróska gróðurs og vötn á aðrennslissvæðinu meira máli en hugsanlegur mismunur á jarðgerð. Gróður-



10. mynd. Tengsl laxagengdar í ár (medalveiði 1974–1994) og megineinkenna í gerð vatnasviðs þeirra. Ár í flokki A koma úr stöðuvötnum og af vel grónu landi; ár í flokki B af vel grónu landi og ár í flokki C koma af gróðursnauðu landi. – Relationship between average salmon catches 1974–1994 and size of catchment areas. Group A: filled circles: rivers originating from lakes in well-vegetated areas, $r^2 = 0.510$, $df = 22$, $P < 0.001$; Group B: open squares: run-off rivers originating in well-vegetated areas, $r^2 = 0.553$, $df = 29$, $P < 0.001$; Group C: filled triangles: rivers originating in poorly vegetated areas at high altitude, $r^2 = 0.012$, $df = 12$, $P > 0.05$.

far hefur áhrif á styrk uppleystra efna í vatni sem leitar í gegnum gróður og jarðveg niður í jarðvatn og síðar grunnvatn. Bæði styrkist það af steinefnum og svo ýmsum lífrænum efnum sem berast með því í næstu á. Því er líklegt að í dragám fari saman hár styrkur uppleystra ólífrænna og lífrænna efna. Ýmislegt gæti truflað þetta samband, og þá helst það að drög sem koma af vatnasvæðum eða einstaka stöðuvötnum geta tekið til sín mikið af uppleystum lífrænum efnum án þess að það hafi samsvarandi áhrif á styrk ólífrænna efna. Vegna mikilvægis ýmissa lífrænna efnasambanda fyrir vöxt gróðurs og með tilliti til uppruna slíkra efna, virðist líklegt að lindár nærri upptökum sínum og dragár af fjallendi séu fremur fátækar af slíkum efnum og séu því með svipað lífmagn.

Tengsl lífmagns og vatnasviðs voru prófuð með því að bera saman afrakstur áa og megineinkenni í gerð þeirra. Þekkt er að



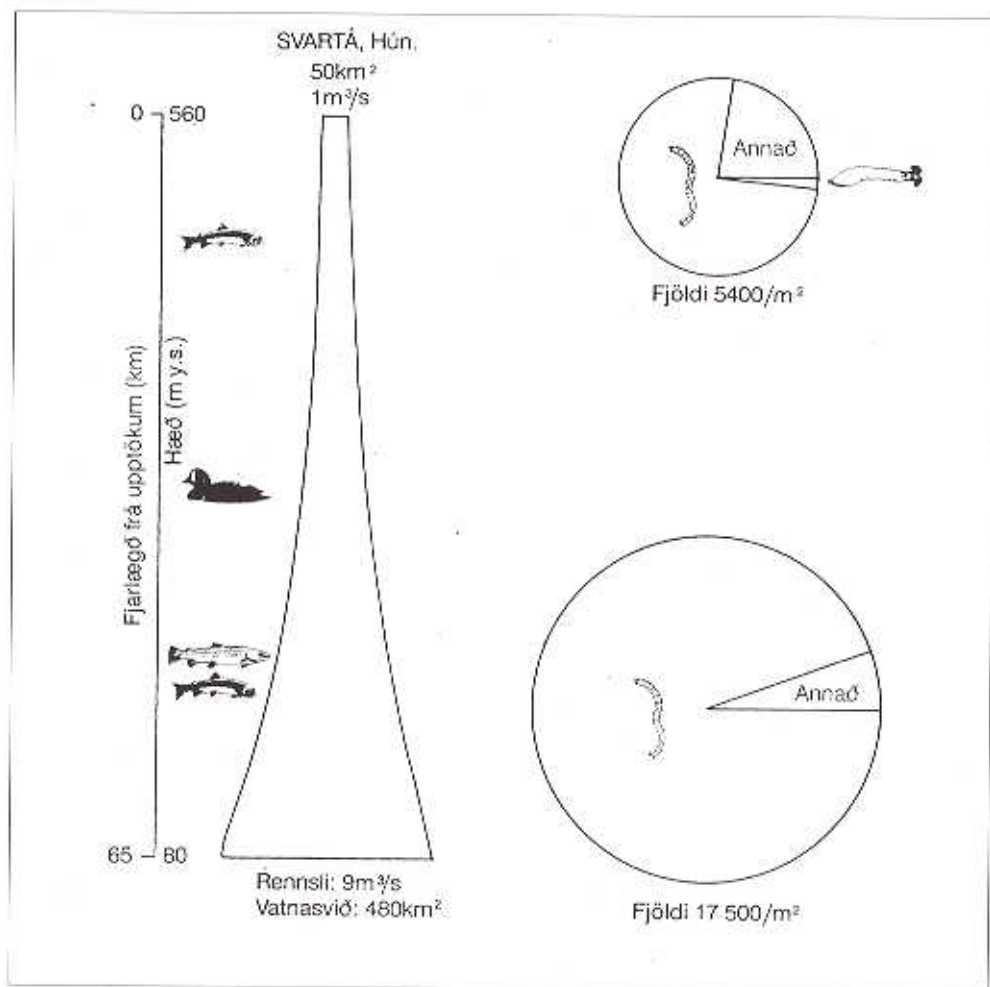
11. mynd. Skýringarmynd af helstu lífríkiseinkennum lindár með upptök í stöðuvatni, Laxá í S-Þingeyjarsýslu. Rennsli er jafnt og mikið og árvatnið auðugt af lífrænum ögnum allt frá upptökum. – A schematic representation of ecosystem characteristics in the lake-fed river Laxá in S-Thingeyjarsýsla (N-Iceland) (Group-A river).

laxfiskar skipta milli sín íslenskum ám. Sjóbleikjan einkennir fremur snauðar og kaldar ár, laxinn fæðufíkar og heitar ár og sjóbirtingur er í ám sem liggja þar á milli (Sigurður Guðjónsson 1990). Þegar meðal-laxveiði í á er borin saman við eitthvert stærðareinkenni viðkomandi ár koma fram mjög skýr mörk milli áa eftir uppruna þeirra (Hákon Adalsteinsson 1982). Ár sem eiga upptök í stöðuvötnum og grónum heidalöndum skila margfalt fleiri löxum miðað við stærð vatnasviða en dragár og lindár af gróðursnaudum eða gróðurlausum vatnasviðum (10. mynd).

Ár sem koma úr stöðuvötnum og af grónu landi hefja vegferð sína með lífrænu reki úr stöðuvatninu og mótar það samfélög hryggleysingja sem nærast á því. Dýralíf í straumvötnum með upptök í stöðuvötnum einkennist af bitmýi sem sár agnir úr vatninu. Ganga fer á agnirnar þegar neðar dregur og eykst þá hlutur rykmýslirfa sem éta áfasta þörungum af botninum (11. mynd),

en rykmýslirfur eru algengustu þörungum á Íslenskum ám. Í dragám án verulegra stöðuvatnsáhrifa eru þörungum ríkjandi og halda sími hlutdeild niður ána (12. mynd). Í samanburði á Laxá í S-Þingeyjarsýslu og Svartá í Húnavatnssýslu er þessi munur mjög áberandi. Einnig er þéttleiki dýra í Laxá 10–50 sinnum meiri en í dragám á vatnasviði Blöndu (Árni J. Óðinsson 1988, Gísli Már Gíslason 1991), en það má rekja til mikillar lífrænnar framleiðslu í Mývatni. Í jökulám er þéttleiki og fjölbreytni botndýra enn minni en í dragám (13. mynd).

Annað einkenni á ám á Íslandi og hánorrænum svæðum er að lítið berst í þær af grófgerðum lífrænum leifum, eins og sínu og trjálaufi, sem leiðir til þess að lítið er af botndýrum (t.d. vorflugum), sem brjóta niður stórar lífrænar agnir, en meira af þörungum vaxa vel á grýttum botni í ám þar sem laufþekja trjáa skyggir ekki á botnin (Petersen o.fl. 1995).

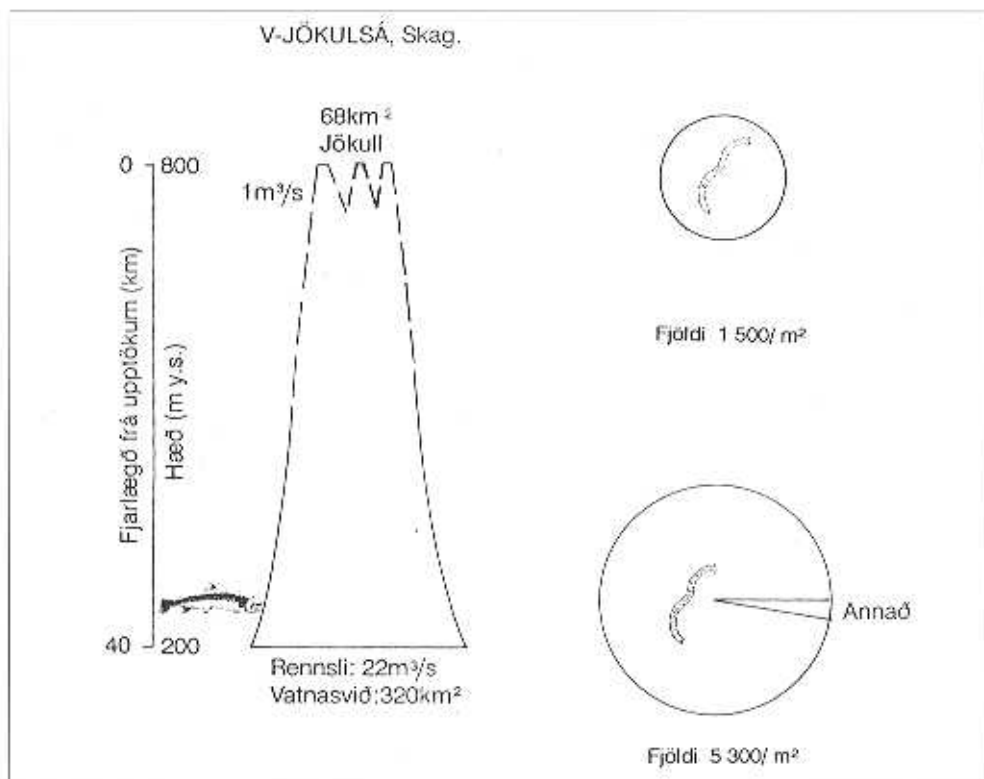


12. mynd. Skýringarmyndir af helstu lífríkiseinkennum dragár, Svartár í Húnavatnssýslu. Dragárkerfi með lítlu rennsli ófarlega á vatnasviði. – A schematic representation of ecosystem characteristics in the run-off river Svartá, E-Húnavatnssýsla (N-Iceland) (Group-B river).

■ RANNSÓKNIR

Unnið er að öflum yfirlitsþekkingar á straumvötnum á Íslandi. Kannað verður botndýralíf í sem flestum gerðum straumvatna. Til þess að verkefnið yrði viðráðanlegt var afraðið að taka aðeins sýni á haustin á nokkrum stöðum úr hverju straumvatni. Fullvöxnum skordýrum er þó safnað við árnar í flugnagildrum (3. mynd) frá vori til hausts til að fá samsetningu skordýralífs í þeim. Engin ódýr lausn er til fyrir

árstíðabundnar breytingar á edlis- og efnafræðilegum eiginleikum straumvatna. Fylgst er með rennsli þeirra með síritandi vatnshæðarmælum á vegum Orkustofnunar (5. mynd). Komist verður fyrir síritandi hitamælum á vatnshæðarmælistöðvum í völdum ám. Auk þeirra mælinga á vötnunum verður hugað að mikilvægi landrænna þátta fyrir ytri gerð straumvatna, þ.e. farvegi, vatnafari og efnainnihaldi.



13. mynd. Skýringarmyndir af helstu lífríkiseinkennum jökulár. Vestari Jökulsár í Skagafirði. – A schematic representation of ecosystem characteristics in the glacial river W-Jökulsá, Skagafjörður (N-Iceland).

■ ÁLYKTANIR

Af einstökum þáttum sem ráða afrakstri straumvatna er líklegt að almenn gróska á vatnasviði á nna skipti mestu máli. Til gróskunnar má bæði rekja aukna útleysingu efna og aðburð lífrænna efnasambanda. Mikilvægustu umhverfispættir straumvatna, auk þeirrar umgerðar vatnsfallsins sem mótar farveg og rennsliseiginleika, eru einfaldlega gróðurfar og tilvist stöðuvatna á vatnasviðinu.

Þeir þættir sem ættu að skipta mestu máli fyrir mat á lífríkisförsendum eru þannig annars vegar mælikvarðar á gróskuna (flatarmál, uppskera o.s.frv.) og hins vegar mælikvarðar á efni sem rekja má til gróðursins og vatnanna, þ.e. lífræn efnasambönd, bæði uppleyst og kornuð.

Þar sem telja má líklegt að jákvætt samband sé á milli styrks lífrænna og ólífrænna efnasambanda, er gagnlegt að mæla styrk uppleystra ólífrænna efna, og þar er langóðýrast að notast við leiðni og láta hana duga ef ekki er ástæða til að ætla að styrkur einstakra efna skipti máli. Höfundar telja þó að mælingar á lífrænum efnasamböndum þyrftu einnig að koma til.

■ ÞAKKIR

Eftirtaldir aðstoðuðu við söfnun gagna og úrvinnslu: Guðrún Lárusdóttir, Ólöf Ýrr Atladóttir, Sveinn Guðmundsson, Jón S. Ólafsson og Þóra Hrafnisdóttir. Sigurður R. Gíslason las handrit, einkum með tilliti til efnafræði, Árni Einarsson efnislega og Ólöf

Ýr Atladóttir einkum með tilliti til málfars. Hluti teikninga var unninn á teiknistofu Orkustofnunar. Verkefnið er styrkt af Vísindasjóði Rannsóknarráðs Íslands og Rannsóknarsjóði Háskóla Íslands. Einnfremur eru notað gögn sem tengjast rannsóknum á botndýralífi í jökulám (AASER), sem styrkt er af Evrópusambandinu (Umhverfi og veðurfar 1994–1998).

HEIMILDIR

- Arnþór Gardarsson 1979. Vistfræðileg flokkun íslenskra vatna. Týli 9.1–10.
- Árni J. Óðinsson 1988. Rannsóknir á botndýralífi straumvatna í vatnakerfi Blöndu. Líffræðiskor Háskóla Íslands. 59 bls.
- Árni Snorrason 1990. Hydrological variability and general circulation of the atmosphere. XVI Nord. Hydrol. Kon. NHK-90. Orkustofnun OS-90027/VOD-02.
- Davíð Egilson, Freysteinn Sigurðsson, Helgi Jóhannesson, Páll Sigurðsson, Sigurður Guðjónsson, Sigurður Már Einarsson & Stefán H. Sigfússon 1991. Fallvötn og landbrot. Rit gefið út sameiginlega af Landgræðslu ríkisins, Náttúruverndarráði, Orkustofnun, Vegagerð ríkisins og Veiðimálastofnun. 40 bls.
- Fogg, G.E. 1965. Algal cultures and phytoplankton ecology. The University of Wisconsin Press. 126 bls.
- Freysteinn Sigurðsson 1990. Groundwater from glacial areas in Iceland. *Jökull* 40. 119–146.
- Freysteinn Sigurðsson 1993. Groundwater chemistry and aquifer classification in Iceland. Í: Hydrogeology of hard rocks (ritstj. Sheila & David Banks), Memoirs of the XXIVth Congress, International Association of Hydrogeologists, 28th June – 2nd July 1993, Ås (Oslo), Norway. 10 bls.
- Freysteinn Sigurðsson & Kristinn Einarsson 1988. Groundwater resources of Iceland, availability and demand. *Jökull* 38. 35–54.
- Gíslí M. Gíslason 1991. Lífið í Laxá. Í: Náttúra Mývatns (ritstj. Arnþór Gardarsson & Árni Einarsson). Hið íslenska náttúrufræðifélag, Reykjavík. Bls. 218–235.
- Guðmundur Kjartansson 1943. Náttúru lýsing Ámessýslu. Árningsasaga I, yfirlit og jarðfræði (útg. Guðni Hl. Hl. Hl.). Árningsafélagið, Reykjavík. 250 bls.
- Halldór Ármannsson 1970. Efnarannsóknir á vatni Elliðaárna og aðrennslis þeirra. Rannsóknastofnun iðnaðarins, Fjölrít nr 26. 67 bls.
- Halldór Ármannsson 1971. Efnarannsóknir á vatni Elliðaárna og aðrennslis þeirra. II Tímabilið maí 1970 – janúar 1971. Rannsóknastofnun iðnaðarins, Fjölrít nr 35. 56 bls.
- Halldór Ármannsson, Helgi F. Magnússon, Pétur Sigurjónsson & Sigurjón Rist 1973. Efnarannsókn vatna. Vatnasvið Hvitár – Ölfusár; einnig Þjórsár við Urriðafoss 1972. Orkustofnun OS-RI. 28 bls.
- Hákon Aðalsteinsson 1982. Um fiskræktarskilyrði á Héraði. Veiðifélag Fljótsdalshéraðs. Bls. 1–79.
- Hákon Aðalsteinsson 1995. Hraunavirkjun, rannsóknir á lífríki vatna. Orkustofnun, OS-95026/VOD-0313.
- Ingi Rúnar Jónsson & Guðni Guðbergsson 1993. Rannsóknir á sjóbleikju í Álftafirði, Hamarsfirði og Berufirði. Veiðimálastofnun VMST-R/93023. 22 bls.
- Jón Ólafsson 1979. The chemistry of Lake Mývatn and River Laxá. *Oikos* 32. 82–112.
- Jón Ólafsson 1992. Chemical characteristics and trace elements of Thingvallavatn. *Oikos* 64. 151–161.
- Petersen, R.C., Gísli Már Gíslason & L.B.-M. Vought 1995. Rivers of the Nordic countries (ritstj. C.E. Cushing, K.W. Cummins & G.W. Minshall). *Ecosystems of the World* 22. Elsevier, Amsterdam. Bls. 295–341.
- Sigurbjörn Einarsson & Hákon Aðalsteinsson 1991. Fosfórbinding í jökulvötnum. Orkustofnun OS-91019/VOD-03. 32 bls.
- Sigurður R. Gíslason 1993. Efnarfræði úrkomu, jökla, árvats, stöðuvatna og grunnvatns á Íslandi. *Náttúrufræðingurinn* 63. 219–236.
- Sigurður R. Gíslason & H. Eugster 1987a. Meteoritic water-basalt interactions: I. A laboratory study. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51. 2827–2840.
- Sigurður R. Gíslason & H. Eugster 1987b. Meteoritic water-basalt interactions: II. A field study in N.E. Iceland. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51. 2841–2855.
- Sigurður R. Gíslason & Stefán Arnórsson 1988. Efnarfræði árvats á Íslandi og hraði efnaröfs. *Náttúrufræðingurinn* 58. 183–197.
- Sigurður R. Gíslason, Auður Andrésdóttir, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Niels Óskarsson, Þorvaldur Þórðarson, M.N. Torssander & K. Zak 1992. Local effects of volcanoes on the hydrosphere: Example from Hekla, southern Iceland. Í: *Water-Rock Interaction* (ritstj. Y.K.

- Kharaka & A.S. Maest). Balkema, Rotterdam. BIs. 477–481.
- Sigurður R. Gíslason, Stefán Arnórsson & Halldór Ármannsson 1996. Chemical weathering of basalt in Southwest Iceland: effects of runoff, age of rocks and vegetative/glacial cover. *American Journal of Science* 296. 837–907.
- Sigurður Guðjónsson 1990. Classification of Icelandic watersheds and rivers to explain life history strategies of Atlantic salmon. Ph.D.-ritgerð, Oregon State University. 136 bls.
- Sigurjón Rist 1974. Efnarannsókn vatna. Vatnasvið Hvítár – Ölfusár; einnig Þjórsár við Urriðafoss 1973. Orkustofnun OSV-7405. 29 bls.
- Sigurjón Rist 1986. Efnarannsókn vatna. Borgarfjörður; einnig Elliðaár í Reykjavík. Orkustofnun OS-86070/VOD-03. 67 bls.
- Svanur Pálsson & Guðmundur Vigfússon 1996. Gagnasafn aurburðarmælinga 1963–1995, Orkustofnun OS-96032/VOD-05 B. 270 bls.
- Vannote, R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell & C.E. Cushing 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquatic Sci.* 37. 130–137.
- Wuhrmann, K. 1974. Some problems and perspectives in applied limnology. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* 20. 324–402.
- Þorleifur Einarsson 1991. Myndun og mótun lands; jarðfræði, Mál og menning, Reykjavík. 299 bls.
- downstream from river headwaters determined species composition of benthic communities. Filter-feeding blackfly larvae (*Simulium vittatum*) dominated lake outlets (fig. 11), whereas algae-grazing chironomids dominated rivers without lake influence (fig 12). Glacial rivers have the lowest density and diversity of benthic invertebrates of all river groups (fig. 13). The study is supported by the Research Council of Iceland (Science Fund), the Research Fund of the University of Iceland and the Framework of EU (Environment and Climate) to the project AASER (Contract ENV-CT95-0164).

POSTFANG HÖFUNDA/AUTHORS' ADDRESSES

Hákon Aðalsteinnsson
Orkustofnun / National Energy Authority
Grensásvegi 9
IS-108 Reykjavík
ha@os.is

Gísli Már Gíslason
Lífvæðistofnun Háskólans / Institute of
Biology, University of Iceland
Grensásvegi 12
IS-108 Reykjavík
gmg@rhi.hi.is

SUMMARY

TERRESTRIAL INFLUENCE ON THE BIOTA IN ICELANDIC RIVERS

Chemical composition in rivers is determined by the geology, topography and vegetation cover in the catchment areas (fig. 7, table 1). This seems to determine the productivity of the rivers in the catchment areas as indicated by catch of salmon and density of benthic invertebrates. Catchment areas of Icelandic rivers are described and fluctuations of nutrients (figs 8 and 9). Rivers originating in lakes and from areas with extensive cover of vegetation produced much more Atlantic salmon (*Salmo salar*) than rivers originating from barren areas, which only produced few salmon or none (fig 10). Organic matter drifting