



ORKUSTOFNUN

Um varmanám í Lagarfljóti

Hákon Aðalsteinsson

Greinargerð HA-95-01

02.03.1995

Um varmanám í Lagarfljóti

1. Inngeislun

Meirihluti sólargeislunar sem nær yfirborði stöðuvatna er sýnilegt ljós. Allnokkur hluti er í innrauða hluta litrófsins og óverulegur hluti hefur styttri bylgjulengd en sýnilegt ljós. Stór hluti af þessari geislun nær niður úr yfirborði vatnsins (90%). Af henni ísogast hluti til vatnsins og þess sem í því er, en hluti af geisluninni tvístrast. Af því sem tvístrast endurvarpast hluti upp úr vatninu, og tekur ekki þátt í orkubúskap þess. Um þetta og almenna umfjöllun um efnið er stuðst við kennslu- og handbækur í vatnalíffræði (Ruttner 1952, Hutchinson 1957, Wetzel 1975).

Um helmingur af þeirri inngeislun frá sólinni sem nær í gegnum yfirborð vatna ísogast í vatninu strax á fyrsta metra vatnssúlunnar og breytist í varma. Þar til viðbótar ísogast geislun til efna-sambanda og korna (t.d. plöntusvifs og jökulaurs). Mismunandi dvínun inngeislunar með dýpi í stöðuvötnum orsakast fyrst og fremst af mismunandi styrk þessara efna.

Varmanám vatnsins gerist með þeim hætti að ljóseind hittir rafeindir vatnssameinda sem taka við orku ljóssins. Vatnssameindir taka þannig til sín orku og hitna. Hluti þess ljóss sem ekki breytist í varma með þessum hætti endurvarpast vegna áhrifa frá vatnssameindum og kornum. Í tærum vötnum, þar sem lítið er af plöntusvifi og aðskotaefnum, er hlutur vatnssameinda í endurvarpi hlutfallslega stór og þá endurvarpast bláa ljósið innan hins sýnilega hluta litrófsins tiltölulega mest, og hluti þess upp úr vatninu aftur. Þess vegna líta vötn út fyrir að vera blá. Meirihluti þess ljóss sem endurvarpast, ísogast síðar með sama hætti og það ljós sem ekki endurvarpaðist. Megnið af orku ljóssins sem kemst niður í vatnið breytist því í varma.

Hluti af aurkornum jökulaurs eru nægilega smá til að tvístra sýnilegu ljósi, og þar sem þau tvístra og endurvarpa því í stórum dráttum svipað frá bláu til rauðs, skynjum við lit jökulskotinna stöðuvatna gjarnan sem gráhvít, eins og t.d. Lagarfljót.

Hluti af ljósorkunni nýtist til að binda efnasambönd og byggja upp frumbjarga lífverur. Sá hluti er breytilegur og fer eftir vaxtarskilyrðum plöntusvifs.

2. Mælingar á dvínun ljóss

Ljós endurvarpast eða tvístrast (scattering) ef það hittir fyrir ögn sem er af svipaðri stærð og bylgjulengd þess. Það fer eftir legu og lögun kornsins, efnabyggingu þess og efnaeiginleikum hversu mikið af ljósinu ísogast eða endurvarpast. Lega og lögun kornanna hafa áhrif á hvaða stefnu ljósið tekur eftir að það endurvarpast. Aðeins lítið brot hins tvístraða ljóss nær yfirborðinu, og af því sleppur 90% aftur upp úr vatninu.

Mælingar í Lagarfljóti og öðrum stöðuvötnum á Íslandi sýna að ljós dvínar hratt í jökulskotnum vötnum (Hákon Aðalsteinsson 1981).

Mæling ljóssins var gerð með svonefndri fótosellu sem er látin síga ofan í vatnið þannig að hún mælir það sem fellur á hana að ofan en ekki ljós sem gæti verið að endurvarpast að neðan. Það er hinsvegar nokkuð augljóst, þegar athugað er hve mikið dvínun ljóssins eykst við tiltölulega lágan aurstyrk (tafla 1), að slíkt ljós er óverulegt í þessu tilliti.

TAFLA 1: Niðurstöður mælinga á dvítnun ljóss, sem sýna hve langt niður mismunandi hlutfall af yfirborðsljósi nær ofan í nokkur stöðuvötn með engum og mismiklum jökulaur.

Stöðuvatn	Aurstyrkur (mg/l)	Hlutfall yfirborðsljóss		
		50% (m)	10% (m)	1% (m)
Prístikla	0	4	13,5	30
Langisjór	< 1	3	9,5	19
Þórisvatn	10	0,6	1,8	3,6
Hvítárvatn	15	0,5	1,6	3,2
Lagarfljót	55	0,2	0,5	0,9
"	90	0,1	0,3	0,6

Vegna þessa endurkasts á milli korna aukast líkur þess að viðkomandi ljóseind ísogist að lokum, ef ekki til aurkornsins þá til vatnsins, því að hafa verður í huga að t.d. 100 mg/l af aur (0,1 g/l) svara til um 0,07 cm³ í lítra eða minna en tíu þúsundustu hluta af rúmmáli vatnsins.

Önnur aðferð til að meta gegnskin í vötnum er að mæla það dýpi þar sem hvít skífa hverfur sjónum (rýni). Í flestum vötnum þar sem ekki gætir að neinu marki framandi efna eða gruggunar er gegnsæi, skilgreint sem það dýpi þar sem enn gætir 1% af yfirborðsljósi, yfirleitt á bilinu 2,5-2,9 sinnum rýnið.

Í jökulskotnum stöðuvötnum hefur það sýnt sig að við tiltekið grugg getur þetta samband rýnis og gegnsæis verið annað; frá 3,5 (Lagarfljót) til 7 (Þórisvatn) sinnum meira en rýnið. Hæst er frávikið ef jökulaur er á bilinu 5-10 mg/l, eins og í Þórisvatni. Þar er litur vatnsins orðin grænleitur, en auk jökulaurs hafa kísilþörungur væntanlega áhrif á ásýnd vatnsins. Hvað sem því líður er þetta frávik í sambandi rýnis og gegnsæis afleiðing af tvístrun ljóssins við árekstur við aurkorn. Minnst er frávikið í Lagarfljóti, þar sem aurstyrkur var á bilinu 50-100 mg/l við mælingarnar. Hærri aurstyrkur hefur vafalaust valdið aukinni tvístrun ljóssins, en jafnframt tryggt það að ljósinu yrði fyrst og fremst drepíð á dreif nærri yfirborði vatnsins í stað þess að hleypa því áfram niður, og jafnframt þá líklega aukið endurvarp út úr vatninu aftur.

3. Varmanám stöðuvatna

Eins og áður greinir ísogast um helmingur af þeirri inngeslun (allar bylgjulengdir) sem kemst niður í vatnið þegar í yfirborðsmetranum. Varmanám stórra og djúpra stöðuvatna á sér því nánast eingöngu stað í yfirborðslögum vatnsins. Vatn í dýpri lögum stöðuvatna hitnar með því að blandast yfirborðsvatni. Vindurinn lætur í té þá orku sem til þess þarf með aðstoð strauma sem vindorkan veldur og viðheldur. Ef sú orka er ekki til staðar tapast varminn aftur úr vatninu í útgeislun.

Varmainnihald stöðuvatns að áliðnu sumri (nettó varmanám) er sá varmi sem þarf til að hækka meðalhita vatnsins frá lægsta til hæsta hita. Í útreikningum hér á eftir er miðað við mismun á hita í vatninu undir ís við ísabrot og hæsta sumarhita. Í vötnum tempraða beltisins, en þar á meðal eru vötn á Íslandi (í kaldari hlutanum), fer varmanám vaxandi með meðaldýpi og flatarmáli. Miðað við vötn með ákveðið rúmmál (flatarmál x meðaldýpi), taka djúp vötn upp nokkru meiri varma á flatareiningu eftir því sem þau eru dýpri (Gorham 1964; í Wetzel 1975).

Í vötnum tempraða beltisins (í hlýrri hlutanum) getur myndast fyrirstaða (hitaskil) sem hindrar flutning varmans niður í dýpri lög vatnsins. Hitaskil stafa af mismunandi eðlismassa vatns eftir

hitastigi. Hann er hæstur við 4 °C og dvínar því meir á hverja °C sem hitinn vskur frá 4°C. Þannig eru hitaskil á bilinu 7-10 °C sterkari en hitaskil á bilinu 4-7 °C. Reyndin er því sú að þegar vötn hitna á vorin (í tempraða beltinu) og á sumrin (hérlandis) hitna þau nokkuð jafnt með dýpi að 6-8 °C (stundum meira, sjaldnar minna, allt eftir veðurfarsaðstæðum). Eftir það þarf ekki marga sólríka og/eða hlýja daga til að mynda hitaskil. Eftir að sterk hitaskil hafa náð að myndast, þarf mikla orku til að brjótaskil í gegn allt þar til vötnin kólna aftur að hausti. Á hitaskilum getur hiti hæglega fallið um meira en 10 °C á minna en 10 m dýptarbili. Í Þingvallavatni myndast yfirleitt svöltil hitaskil, en þar er hitafallið sjaldan meira en 2 °C á 10 m. Hitaskil í Lagarflijóti hafa mælst 1-2 °C á um 10 m. Oftar virðist þó vera um að ræða hitafall á mun breiðara dýptarbili og ákaflega óstöðug skil.

Annar þáttur sem ræður miklu um varmanám er mismunur lofthita og vatnshita. Varmanám minnkar eftir því sem vatnshiti og lofthiti verða líkari. Í vötnum sem verða íslaus fremur seint á vorin, verður varmanámið þeim mun örara sem lengra er liðið framá er ísinn fer, þannig að hámarkshitastig þeirra er líklega lítið háð því hvenær ísinn fer, heldur fyrst og fremst sumarhita, sbr mælingar í Þingvallavatni (Hákon Aðalsteinsson o.fl. 1992).

Gögn eru tiltæk um vatnshita og hlýnun stórra og djúpra stöðuvatna, þ.e. Þingvallavatn frá 1974-1984, Þórisvatn 1971 (sjá Hákon Aðalsteinsson 1976a) og stakar mælingar í Lagarflijóti frá 1974 (Jón Kristjánsson 1975), 1975 og 1994 (Hákon Aðalsteinsson 1976b og óbirt gögn). Þessi vötn eru svipuð að vatnsmagni (2700-2900 GJ). Með hliðsjón af þessum gögnum má fá eftirfarandi mynd af hlýnun vatnanna:

1. Ísinn fer af Þingvallavatni í apríl (oftast). Þá er hitastig í vatninu um 1 °C. Í Þórisvatni fór ís af vatninu í lok maí, og þá var hitastig í vatninu um 0,2-1 °C.
2. Í lok júní hefur hitastig í Þingvallavatni náð um 7 °C, rösklega 3 °C í Þórisvatni þar sem það er dýpst, en 4,5 °C í Austurbotni Þórisvatns.

Í Lagarflijóti, út af Atlavík 12. júní 1975, var hitinn 4 °C niður á um 30 m dýpi. Meðal-lofthiti júní mánaðar var um 2 °C undir meðallagi (1930-1960).

3. Í lok júlí og byrjun ágúst er yfirborðshiti í Þingvallavatni um 10 °C, um 8 °C á 20 m dýpi og um 6 °C á 80 m dýpi. Samsvarandi var hitastig í Þórisvatni um 6,5 °C við yfirborð, rösklega 5 °C á 20 m dýpi og um 5 °C við botn. Í Austurbotni var hiti rösklega 9 °C við yfirborð og um 7,5 °C á um 20 m dýpi.

Þann 3. ágúst var hitastig í Lagarflijóti út af Hafursá um 9 °C við yfirborð, lækkaði frá 8,5 °C í 7 °C á um 25-40 m dýpi og var um 6 °C á 100 m dýpi. Þann 17. júlí 1974 mældi Jón Kristjánsson fiskifræðingur um 11,5 °C í yfirborði á svipuðum slóðum, en á 5-30 m dýpi svo til nákvæmlega sama hita og 3. ágúst 1994. Við Egilsstaði var hiti í yfirborði um 9,4 °C og hafði lækkað í um 7 °C á 30 m dýpi (3. ágúst 1994). Meðalhiti var um 7,6 °C, og við Hafursá fékkst sami meðalhiti frá yfirborði niður á 60 m dýpi, en um 1 °C lægri væru neðstu 40 m teknir með.

Frá 22. ágúst 1975 er til mæling út af Atlavík sem gefur til kynna að hitastig geti jafnast svo til algerlega frá yfirborði til botns, en þá var hiti rösklega 9 °C við yfirborð en tæplega 9 °C á 100 m dýpi.

4. Í lok september er yfirborðshiti í Þingvallavatni enn um 8 °C við yfirborð og um 7 °C við botn. Í Þórisvatni var hiti um 6 °C frá yfirborði til botns og tæplega 6,5 °C í Austurbotni.

Lengst af vorinu og framan af sumri var lofthitinn á Þingvöllum að meðaltali um 2-4 °C hærri en meðalhiti í efstu 20 m vatnsins á sama tíma. Hámarks lofthiti (mánaðarmeðaltal) og hámarks vatnshiti í yfirborði eru svipaðir eða um 10-11°C.

Meðahiti á Héraði er heldur hærri á en á Þingvöllum, eða um 11 °C í júlí og ágúst. Hitastig í Lagarfljóti ætti því hæglega að ná svipuðum gildum eða hærri en í Þingvallavatni. Breytileiki í hita Þingvallavatns frá ári til árs hefur á 10 ára tímabili verið um 1-3 °C í yfirborðslögum og um 1 °C neðan 30 m dýpis. Engin ástæða er til að ætla að breytileikinn í Lagarfljóti sé meiri, eða að þróun hlýnunar vatnsins sé frábrugðin við hliðstæð veðurfarsskilyrði.

Í Þingvallavatn renna um 88 m³/s af 3-4 °C heitu lindarvatni. Í heild renna að meðaltali um 100 m³/s í gegnum vatnið, en það er mjög svipað og rennur að meðaltali í gegnum Lagarfljót. Mælingar í yfirborðslögum (0-20 m) Þingvallavatns sýna að þetta kalda innrennslisvatn hefur lítil sem engin áhrif á þróun hitans, mest um 1 °C nyrst í vatninu næst stærstu lindasvæðunum í maí og september og um 0,5 °C í júlí og ágúst.

3.1 Varmanám í Þingvallavatni

Til er heilleg ársserfa af mælingum á hita frá yfirborði til botns í Þingvallavatni (83 km²) frá hausti 1974 til sama tíma 1975. Reikna má nettó varmanám vatnsins yfir sumarið 1975 á grundvelli þess hve mikið vatnið hitnaði frá ísabrotum þar til hæsta sumarhita er náð (tafla 2). Samkvæmt skilgreiningu þarf 1 kalóríu (cal) til að verma 1 cm³ af vatni um 1 °C.

Tafla 2: Varmanám Þingvallavatns frá ísabrotum þar til hámarkshita er náð.

Dýptarbil (m)	Rúmmál (· 10 ⁶ m ³)	Hlýnun (°C)	Varmi (· 10 ¹² cal)
0-10	800	9,5-0,7	7040
10-20	600	8,8-0,8	4800
20-30	450	8,5-0,8	3460
30-40	400	8,2-0,8	3040
40-50	240	8,0-1,0	1680
50-60	200	8,0-1,0	1400
60-80	100	8,0-1,0	700
80-100	30	7,5-1,5	150
Alls:	2820		22300

Meðalhiti í vatnssúlunni við hámarkshita reiknaðist um 8 °C. Varmanám á flatareiningu reiknaðist því um 25.000 cal/cm². Deilt er í varmanám í vatninu í heild með flatarmáli þess.

3.2 Varmanám í stórum vötnum á Íslandi

Með því að gefa sér svipaðar forsendur um þróun hitastigs í Lagarfljóti (53 km²) og hér að framan varðandi Þingvallavatn, fást samsvarandi tölur um varmanám (tafla 3). Í töflunni er einnig gróflaga áætlað varmanám fyrir dýpri hluta Þórisvatns (um 50 km²) og Austurhluta þess (Austurbotn, um 20 km²). Með því að Þórisvatn er í svipaðri hæð (570 m y.s.) og áformuð miðlunarlón virkjana í stóru Jökulsánum norðan Vatnajökuls (550-610 m y.s.), má nota gildi fyrir Þórisvatn til að meta varmanám í lónunum.

Ef meðaldýpi og meðalhitastig er þekkt (gefið) fæst; Varmanám á flatareiningu = hlýnun · meðaldýpi ($\text{cal}/\text{cm}^3 \cdot \text{cm} = \text{cal}/\text{cm}^2$)

Tafla 3: Varmanám í nokkrum djúpum vötnum á Íslandi.

Vatn	Hlýnun (°C)	Meðaldýpi (cm)	Varmanám (cal/cm^2)
Pingvallavatn (1975)	8-1	3400	25.000
Lagarfljót (3.08.'94)	7-1	5100	31.000
" (22.08.1975)	9-1	5100	41.000
Þórisvatn (1971)	6-1	4500	22.000
Austurbotn (1971)	8-1	2500	18.000
Hálslón	6-1	5000	25.000
Arnardalslón	8-1	2000	14.000

Samkvæmt þessum útreikningum er líklegt að varmanám í Lagarfljóti sé að meðaltali einhversstaðar á bilinu 30-40.000 cal/cm^2 . Búast má við að varmanám sé meira í Lagarfljóti en í Pingvallavatni, að því gefnu að veðurfar sé svipað, ef miðað er við þá reglu að mismunur á varmanámi vatna með svipað rúmmál, eins og í þessu tilfalli, fari eftir dýpi þeirra, eins og áður getur. Þessar tölur sem hér eru reiknaðar eru á sama róli og í vötnum tempraða beltisins (Wetzel 1975. Table 6-2). Í djúpum norðlægum vötnum og vötnum í fjallendi sunnar er varmanám oft á bilinu 10-20.000 cal/cm^2 , en nær 30.000 í djúpum vötnum sunnar.

Svo háar tölur sem þær er reiknuðust fyrir Lagarfljót 1975 koma aðeins fyrir í mjög stórum og djúpum vötnum. Meginástæða þess að hérlendis fást viðlíka tölur og sunnar þar sem vötn eru mun lengur íslaus, er að þau vötn eru yfirleitt hitalagskipt eða búa við kyrrlátara veður og tapa því miklum varma upp úr yfirborði vatnsins í stað þess að hann nýtist til að hita dýpri lög þess.

4. Lagarfljót fyrir og eftir veitu

Gert er ráð fyrir því að jökulaur muni aukast umtalsvert í Lagarfljóti eftir að Jöklu hefur verið veitt þangað, og líklega verða meiri en hann var 1975 (Hákon Aðalsteinsson og Oddur Sigurðsson 1993). Hár styrkur jökulaurs í Lagarfljóti 1975 á rætur að rekja til framhlaups Eyjabakkajökuls í september 1972. Jökulaur Jöklu mun auka aur í Lagarfljóti, fyrst og fremst vegna þess hve mikið hún ber fram í heild, þótt styrkur ffnkorna aurs sé þar hlutfallslega miklu minni en í Jökulsá í Fljótssdal. Aurstyrkur í Lagarfljóti mun ekki aukast við veitu úr Jökulsá á Fjöllum umfram það sem Jökla veldur vegna þess hve styrkur ffnkorna aurs er lágur í Jökulsá á Fjöllum.

Rúmmál Lagarfljóts er um 2700 Gí og til þess renna nú um 3200 Gí árlega. Að jafnaði þýðir það að viðstöðutfmi innrennslisins sé um 310 dagar eða 10 mánuðir.

Ef veitu úr Jöklu yrði bætt við innrennsli til Lagarfljóts, lækkar viðstöðutfmi vatnsins í 5 mánuði. Gert er ráð fyrir að vatn úr Jöklu komi til með að hafa svipað hitastig og dýpri hluti Þórisvatns og verði að jafnaði um 3 °C kaldara en Lagarfljót.

Ef til viðbótar kæmi veita úr Jökulsá á Fjöllum yrði viðstöðutfmi vatnsins í Lagarfljóti um 100 dagar eða rösklega 3 mánuðir. Vatn sem veitt yrði frá lóni í Jökulsá á Fjöllum hefði að líkindum að jafnaði svipaðan hita og í grynri hluta Þórisvatns, A-botni, og svipaðan og í Lagarfljóti.

5. Niðurstöður

Pingvallavatn, sem hefur á móta langan viðstöðutíma vatns (320 dagar) og Lagarfljót (310 dagar), hitnar í samræmi við hækkun lofthita frá vori fram á síðari hluta sumars, þrátt fyrir stöðugan lágan hita innrennslisvatns (lindavatn).

Til Lagarfljóts rennur eingöngu yfirborðsvatn, sem fylgir náíð lofthita (Hákon Aðalsteinsson 1982). Það er oftast heitara en Lagarfljót, og virðist engu breyta um hlýnun (varmanám) þess, vegna þess hve viðstöðutíminn er langur.

Þótt viðstöðutíminn styttist við veitu úr Jöklu í um 150 daga er hann talin nógu langur til að tryggja svo til óbreytt hitaástand í Lagarfljóti, enda má búast við að hiti vatns í veitunni verði lengst af hærri en 3-4 °C. Innstreymi vatns með þennan hita virðist ekki breyta miklu fyrir hlýnun Pingvallavatns, sem fyrr segir.

Þótt veitu úr Jökulsá á Fjöllum yrði bætt við og viðstöðutími vatnsins enn stytur í um 100 daga, mun það litlu breyta vegna þess að lengst af yrði hiti þess viðbótarvatns svipaður og í Lagarfljóti.

Í Pingvallavatni mátti merkja staðbundin áhrif af köldu lindainnrennsli, en þó ekki frávik umfram 1 °C í efstu 20 metrum vatnsins næst lindunum. Í maí var hitastig þar um 1 °C lægra en almennt í vatninu, yfir sumarið um 0,5 °C lægra, en allt að 1 °C hærra í september.

Líklegt er að hiti við yfirborð innst í Lagarfljóti lækki eitthvað miðað við það sem nú er, þótt sýna megi fram á að í heild verði lítil breyting. Varla er þess að vænta að frávikkið verði meira en 1 °C innst í vatninu, oftast minna ef marka má reynslu frá Pingvallavatni. Samkvæmt álitsergerð Veðurstofunnar um Blöndulón (Flosi Hrafn Sigurðsson og Eyjólfur Þorbjörnsson 1979) varðandi hugsanleg áhrif þess á sitt nánasta umhverfi, yrðu áhrif af slíkri lækku vatnshita í takmörkuðum hluta Lagarfljóts að sama skapi vart merkjanleg nema rétt við bakka vatnsins. Þær litlu breytinga rsem ætla má að verði samfara veitu Jöklu og e.t.v. einnig Jökulsár á Fjöllum til Lagarfljóts koma því ekki til með að breyta neinu um gróðurfarsskilyrði á Héraði.

6. Tilvitnanir

Flosi Hrafn Sigurðsson og Eyjólfur Þorbjörnsson 1979. *Um veðurfarsleg áhrif Blöndulóns og greinargerð Orkustofnunar um það efni.* Orkustofnun, OS-79038/ROD-14, bls. 5-26.

Gorham, E. 1964. Morphometric control of annual heat budgets in temperate lakes. *Limnol. Oceanogr.* 9:525-529.

Hákon Aðalsteinsson 1976a. *Þórisvatn, áhrif miðlunar og Köldukvíslarveitu á lífsskilyrði svifs.* Orkustofnun, OS-ROD 7643, 10 bls. + töflur og myndir.

Hákon Aðalsteinsson 1976b. *Lögurinn, svifaur, gegnsæi og lífríki.* Orkustofnun, OS-ROD 7609, 47 bls.

Hákon Aðalsteinsson 1981. *Tengsl svifaurs og gegnsæis í jökulskotnum stöðuvötnum.* Orkustofnun, OS-81027/VOD-12, 30 bls.

Hákon Aðalsteinsson 1982. *Um fiskræktarskilyrði á Héraði.* Veðifélag Fljótsdalshéraðs, maí 1982. 79 bls.

Hákon Aðalsteinsson, Pétur M. Jónasson og Sigurjón Rist 1992. Physical characteristics of Thingvallavatn, Iceland. *Oikos* 64:121-135.

-
- Hákon Aðalsteinsson og Oddur Sigurðsson 1993. *Austurlandsvirkjun, áhrif á framburð og strandrof við Héraðsflóa og Öxarfjörð, grugg og hitastig í Lagarfjótí, og ástand strandsjáv-
ar*. Orkustofnun, OS-93070/VOD-07, 43 bls.
- Hutchinson, G.E. 1957. *A treatise on Limnology. Volyme I, geography, physics and chemistry*.
John Wiley & Sons, London, 1015 bls.
- Jón Kristjánsson 1975. *Rannsóknarferð til Austurlands í júlí 1974*. Bréfskýrsla, Veiðimála-
stofnun, maí 1975, 13 bls.
- Ruttner, F. 1952. *Fundamentals of Limnology*. University of Toronto Press (3. ed), 295 bls.
- Wetzel, R.G. 1975. *Limnology*. Saunders, Philadelphia, 741 bls.