

Fosfat í og utan á jökulaur: íburður Tungnaár

Hákon Aðalsteinsson

Greinargerð HA-80/03

1 INNGANGUR

Setlagarannsóknir í stöðuvötnum sýna að vötn sem eru mynduð af jökulum, og hafa orðið til í kjölfari jökulsins, er hann hropaði norður á bóginn, eru oft frjósöm í byrjun, þó að þau fái síðar einkenni næringarsnauðra vatna. Þessa næringarauðgi jökulbotnsins má rekja til hinna miklu rofakasta jökulsins. Skriðþungi jökulsins mylur smám saman niður bergið í smærri og smærri agnir. Vatnið nær tókum á þessum ögnum og safnar þeim í jökulelfuna. Ástæða er til að ætla, að óvenjumikið af fallorku jökulelfunnar undir jökli fái útrás í miklum átökum við farveginn, og eigi sinn þátt í rofi og útleysingu. Jökulár einkennast af miklum rennslissveiflum, bæði árstíðabundnum og einnig dægursveiflum. Sveiflur þessar eru fyrst og fremst háðar jökulbráð og má því telja víst, að leysingavatn hafi stutta viðdvöl á jökli.

Útleysing efna á sér stað á snertifleti vatns og bergs. Því smærra sem bergið er mulið, þeim mun stærri verður snertiflötur á þyngdar-
einingu og þeim mun meiri útleysing. Hinn mikli þrýstingur á vatninu og aukinn núningur vatns og bergs undir jökli eykur einnig á rof og útleysingu. Í samanburði við aðgerðalítið grunnvatn, sem streymir hægt og sígandi fram undan halla landsins er jökulskrið mjög atkvæðamikið á þessu sviði. Hins vegar er grunnvatnið að margfalt lengri tíma en jökulvatnið. Meðan jökulvatnið hefur aðeins verið í snertingu við berg svo skiptir klukkutímum eða dögum hefur grunnvatnið verið það svo mánuðum eða árum skiptir.

Í jökulvatni er þannig afl snertingar og snertiflötur vatns og bergs miklu stærri en hjá grunnvatni, en hins vegar má ætla að sá tími, sem snerting varir sé venjulega aðeins brot af því sem hann er hjá grunnvatni.

Það er alkunna að fosfat (PO_4), en á því formi er fosfór (P) oftast í upplausn, binst auðveldlega við agnir í jarðvegi, einkum leir. Samkvæmt skilgreiningu, sem stuðst er við í aurburðarrannsóknum eru agnir minni er 2μ (0,002 mm) taldar leir. Samkvæmt upplýsingum Hrefnu Kristmannsdóttur er hér aðeins í undantekningartilfellum um eiginleg leirmineröl að ræða heldur aðallega fínmulið gler, ösku o.s.frv.

Fosfat er eitt af mikilvægustu næringarsöltunum, sennilega það mikilvægasta, þar sem styrkur þess er oft við neðri mörk þess sem plöntur þurfa til vaxtar. Beinar mælingar í straumvötnum gefa oftast villandi mynd af P-framburði viðkomandi vatns, þar sem P er snarlega tekið upp og bundið í lífkeðju vatnsins.

Jökulvötn hafa lengi haft orð á sér sem frjósöm vötn (sjá m.a. Brundin 1956, Vasshaug 1966). Það eru hins vegar ýmsar aðstæður sem draga úr því að frjósemin nýtist viðkomandi vatnakerfi til lífrænnar framleiðslu. Jökulaurinn dregur úr gegnsæi vatnsins, þ.e. takmarkar ljós, og botnskrið veldur lífverum, sem þurfa að festa sig á botninn erfiðleikum. Ennfremur er þessi mikli ólífræni framburður til trafala dýrum, sem lifa á ögnum, sem þau sía úr vatninu.

Eftir því sem næst verður komist, er jökulkorgun vatna hér á landi af annarri og hærri stærðargráðu en erlendis, t.d. í Noregi, þar sem nokkuð er um jökulár. Það er sennilega ástæða þess að ýmsir mikilvægir eiginleikar jökulvatnsins, eða sambærilegs ólífræns gruggs, hafa lítt verið rannsakaðir annars staðar, eftir því sem næst verður komist (sjá t.d. Kjensmo 1972).

Sem fyrr segir aðsogast fosfat mjög auðveldlega að jarðvegskornum, einkum leir. Krystallagerð leirs einkennist af flögum, sem eru tiltölulega laust bundnar og með vatn milli laga. Þetta rými milli laganna aðsogar mjög auðveldlega uppleyst efni. Leir myndast við ummyndun og einkum veðrun. Veðrun er sambland mólunar og hydrolysu. Hydrolysan er efnahvarf og er sem slíkt háð varmafræðilegum lögmálum, þar sem hitastig er einn áhrifavaldurinn. Vegna þessa er leirmyndun mjög hæg á norðlægum slóðum, enda er leirsteindamyndun lítt áberandi á yfirborði hér á landi. Ummyndun getur verið mjög ör í kjölfar eldsumbrota (Sveinn Jakobsson 1972) og Hrefna Kristmannsdóttir (pers. uppl.) telur að af þeim sökum sé hér mikið um steindir á einhvers konar forstigi leirmyndunar. Aska er t.d. oft mjög flögótt, en aska er mjög algeng í jökulaur (Hrefna Kristmannsdóttir pers. uppl.).

Leirsteindir þær sem einkum myndast í basalti (smektit), og algengastar eru hér (Halldór Kristinsson 1970, Hrefna Kristmannsdóttir 1979) eru

einmitt þekktar af sínum aðsogseiginleikum. Jónaskipti fara mjög auðveldlega fram og í raun getur leirinn virkað sem efnalager fyrir plöntur. Vetrnisjón (H_3O^+) frá rótum plantna getur t.d. gjarnan tekið sæti annarra jóna, sem þá losna.

Sú spurning sem leitast er við að svara með rannsóknum þessum hér er sú hvort jökulaur geti að einhverju leyti haft svipaða aðsogseiginleika og leir. Ef jökulaurinn bindur jónir þá er sennilega um að ræða hliðstæða bindingu og við leir, en henni er lýst sem "chemisorption" af Van Olphen í Stumm og Morgan (1970). Þar getur t.d. verið binding milli hinnar neikvæðu PO_4^{3-} jónar og jákvætt hlaðinna jóna leirsins (t.d. Al^{3+}). Einnig er mögulegt að fosfat skipti á sæti við kísil (SiO_2) (Mayer & Gloss 1980).

Til eru áform um virkjanir í öllum stærstu jökulelfum landsins. Í þeim felast m.a. veruleg miðlunar- og uppistöðulón, sem jafnframt munu virka sem setgildirur á jökulaurframburð ána. Þetta mun því hafa veruleg áhrif á eiginleika vatns og efna sem berast af landinu til sjávar. Fram á síðustu ár hafa rannsóknir á efnaíburði afrennslis af landinu og hlutdeild hans í efnabúskap íslenska grunnsævisins verið takmarkaðar. Meðal slíkra má nefna mælingar Sigurjóns Rist o.fl. (1973 og 1974) á vatnasviði Ölfusár - Hvítár og í Þjórsá, en mælingarnar voru takmarkaðar hvað varðaði íburð af P og N. Þær endurspeglu í reynd aðeins á hvaða tímum mest er notað af þessum efnum í ánni sjálfri, og hætt er við að árnar geti skilað af sér bróðurparti framburðar heils sumars í einu haustflóði.

Hafrannsóknarstofnun í samvinnu við H.Í. hafa gert athuganir á því hvað verður um ýmis efni í ósunum þegar árvatn blandast sjó. Þar sem þetta rannsóknarsvið og athugun á efnaíburði jökulánna, uppleysingu og aðsogun og þ.h. hefur marga sameiginlega fleti var leitað samstarfs við ofanefnda aðila. Leiddi það til eftirfarandi áætlunar um aðalverkefni:

1. Efnahvörf og/eða útþynning við blöndun árvatns og sjávar.
2. Útleysing (PO_4-P og SiO_2) úr bergi af ýmsum gerðum og á ýmsu formi.
3. Aðsogun (sorption) og binding fosfats á svifaur (eða mulið berg).

Hafrannsóknarstofnun annast 1. verkefnið en Orkustofnun hefur veitt nokkra aðstoð við sýnatöku.

Að 2. verkefni er unnið sameiginlega af Hafrannsóknarstofnun og Orkustofnun.

Orkustofnun annast 3. verkefnið að mestu, með aðstoð Hafrannsóknarstofnunar.

Á síðasta ári var gerð forathugun sem einkum beindist að aðsogunarvandamálinu. Hugmyndin var m.a. að safna sýnum úr Tungnaá á mismunandi tímum sólarhrings og bera saman lindar- og jökulvatnið í ánni með tilliti til fosfats og kísilíburðar m.m. Stefán Einarsson efnafræðingur sá um flestar mælingar ásamt starfsfólki á Hafrannsóknarstofnun.

Þessi greinargerð lýsir því hvaða tilraunir hafa verið gerðar, og með tilliti til ályktana af endanlegum niðurstöðum má auðveldlega sjá að komast hefði mátt beinni leið að niðurstöðum. Þetta var hinsvegar forrannsókn og því tel ég rétt að fylgja lærdómsferlinum nokkurn veginn vegna þeirra sem sjá um framhald rannsóknanna.

2 AÐFERÐIR

2.1 Beinar mælingar í Tungnaá

Tungnaá var valin af þeim sökum, að það er einmitt verið að virkja hana um þessar mundir, en einkum þó vegna þess að hún er nær eingöngu lindá auk jökulvatnsins. Hún hefur því sennilega tiltölulega stöðugt grunnrennsli (um $30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) og búast má við að efnainnihald grunnrennslis sé stöðugt.

Sýni voru tekin í tvö skipti á nokkurra tíma fresti í a.m.k. 2 sólarhringa í Tungnaá/Hófsvað. Úr hverju sýni var annars vegar mælt úr ósíuðu og hins vegar úr síuðu. Notaðar voru glerfibersíur (GF/B) með 1μ gatastærð og í nokkrum tilfellum millipore síur ($0,2\mu$). Sýni voru efnagreind á Hafrannsóknarstofnun og notaðar til þess aðferðir sem m.a. er lýst af Jóni Ólafssyni (1979).

2.2 Tilraunir með útfellingu og losun bundins $\text{PO}_4\text{-P}$

Við þessar tilraunir voru notuð sýni tekin í Tungnaá uppi við jökul, þ.e. sem næst óblandað jökulafrennsli. Við útfellinguna var í byrjun hrist duglega upp í sýninu, sem var geymt í brúnni $2 \frac{1}{2}$ l flösku við 0°C . Síðan var tekið sýni með sogara úr miðri flöskunni á nokkurra klst. millibili, og fylgst annars vegar með útfellingu (með síun, 1μ GF/B) og hins vegar með leystum $\text{PO}_4\text{-P}$ í bæði ósíuðum og síuðum sýnum.

3 NIÐURSTÓÐUR

3.1 Fosfat styrkur Tungnaár

Styrkur fosfats reyndist vera á bilinu 60-100 μgl^{-1} í júlímælingunum, en helmingi lægri í mælingunum frá 17. ágúst (tafla 1).

TAFLA 1

Fosfat styrkur Tungnaár sumarið 1979

Dags.	Kl.	Rennsli $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	Fosfat		$\frac{\text{Síað}}{\text{ósíað}}$	Svifaur mgl^{-1}	Fosfat (ósíað-síað) $\mu\text{g}/\text{mg}$ svifaur
			ósíað	síað			
1979.06.29	22:10	80	97,6	51,7	0,53	32,3	1,4
1979.06.30	09:15	81	59,8	50,2	0,72	33,6	0,28
1979.06.30	16:00	76	68,8	58,2	0,84	19,6	0,54
1979.06.30	22:55	76	59,8	50,5	0,84	23,0	0,40
1979.07.01	04:25	77	75,0	57,3	0,76	34,6	0,51
1979.07.01	12:40	77	86,7	58,8	0,68	34,6	0,81
1979.07.01	16:00	78	71,8	64,1	0,89	(62,3	0,12)
1979.07.11	02:00	87	76,2	34,7	0,46	42,3	0,98
1979.07.11	08:30	87	77,4	34,7	0,45	45,1	0,95
1979.07.11	17:00	81	61,9	36,8	0,59	52,3	0,47
1979.07.12	00:30	78	74,0	39,6	0,53	42,2	0,82
1979.07.12	07:50	80	71,5	39,0	0,54	45,1	0,72
1979.07.12	22:30	76	72,8	40,6	0,56	39,4	0,82
1979.07.12	08:10	81	92,0	39,0	0,42	54,4	0,97
1979.08.17		82	35,2	32,0	0,91	108	0,03
1979.10.09			44,3	41,2	0,93		

Það sem hvað mesta athygli vakti var að styrkurinn lækkaði verulega við síun, í fyrri sýnatökunni um 20-30%, en í þeirri seinni um 40-60%.

Þetta þýðir að hluti af þeim fosfór, sem virtist mælanlegur sem uppleystur ólífrænn PO_4-P , fylgdi kornum sem urðu eftir á síunni. Þessi hluti P, þ.e. mismunur þess sem fæst úr mælingum á sýninu ósíuðu og síuðu á GF/B síu, hefur því verið aðsogaður eða í efnasamböndum í aurnum. Hann var þó ekki fastar bundinn en svo að hann losnaði einhverntíma í þeirri meðferð sem sýnið fékk fyrir mælingu. Mælingin er spektrofótometrísk, þar sem fosfatið myndar bláleitt "Molybdeu"-komplex. Við þessa meðferð er sýnið sýrt verulega.

Hugmyndin um að taka sýni yfir heilan sólarhring eða lengur byggðist á að með þeim hætti kæmu í ljós áhrif mismunandi aurburðar m.t.t. fosfats. Sem fyrr segir er miðað við að hlutdeild lindarvatns og efnasamsetning þess sé nokkuð stöðug. Var þá gert ráð fyrir að þegar rennslið væri í lágmarki gæfu mælingar hugmynd um efnasamsetningu lindarvatnsins og á hinn bóginn gæfu mælingar á vatni, þegar áin væri í hámarki hugmynd um efnaeiginleika jökulvatnsins. Hinsvegar urðu litlar sem engar sveiflur á rennslinu í þau tvö skipti sem sýnaröð var tekin, frekar en yfirleitt síðastliðið sumar, og því ekki heldur um marktækar breytingar á efnainnihaldi vatnsins að ræða (tafla 1). Efnainnihald lindarvatnsins í Tungnaá hefur ekki verið mælt til neinnar hlýtar, og fáar mælingar eru til af jökulvatnsupptökum á þessu svæði. Í töflu 2 eru niðurstöður nokkurra mælinga frá vatnasviði Tungnaár, sennilega bróðurparturinn af mælingum, sem til eru af slíkum við náttúrulegar aðstæður.

TAFLA 2

Efnainnihald linda og annars afrennslis á vatnasvæði Tungnaár

	t°C	pH	mg l ⁻¹				µg l ⁻¹		
			HCO ₃ ⁻ -C	uppl. efni	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SiO ₂ -Si	PO ₄ -P
Lind v/Hófsvað	5	8.1	85					156	44.8
Lind v/Hófsvað		7.9	88	131	7.9	5.4	4.4	157	35.0
Lind v/Hófsvað	5	7.9	89	128	7.8	5.1	4.4	137	37.8
Tungnaá v/Hófsvað	1) 7.5	7.6	41.4					55.8	21.8
Tungnaá v/Hófsvað	1) 8.5	7.7	32.4					37.8	15.8
Tungnaá v/Hófsvað	2) 7.7	7.7	37.2					32.0	15.4
Tungnaá v/Hófsvað	2) 0.6	7.6	39.6					41.2	37.8
Tungnaá v/Jökul	3)							12.4	
Tungnaá v/Sigöldu	4) 1.8				5.5	2.6	4.4		
Jaróvatn	4.5				9.2	5.0	4.4	13.5	
Jaróvatn	4.9				10.5	4.1	3.7	17.6	
Jaróvatn	4.9				8.0	4.1	3.7	16.8	
Vatnkvísl '79.10.11	1.4	7.8	42.0					16.4	
Útkvísl '76.11.11	3.5				5.4	5.2	3.8	16.9	28.0
Blautakvísl "	5)				5.4	4.7	3.6	16.7	
Tungnaá v/brú		7.2		86.2	5.4	2.4	3.8	16.2	
Sylgja		7.3		66.0	5.5	0.4	0.2	10.4	
Pumla		6.5		14.6	1.7	0.4	0.2	3.2	
				20.4	1.9	0.4	0.3	4.6	

1) meðaltal 7 sýna sem tekin voru á 6-15 tíma fresti

2) 1 sýni

3) 1 sýni - geymt við 0°C og mælt eftir u.þ.b. 3 mánuði

4) S05, S06, S04, S07 76.11.08-09, Björn Jónsson og Sigurður Rúnar Guðmundsson 1977 (OS ROD7717)

5) Guttormur Sigbjarnarson 1972

Á þessu stigi má e.t.v. álykta að lindin við Hófsvað gefi sæmilega hugmynd um styrk efna, en sé þó sennilega í hærra lagi. Efnagreiningar á vatni úr Tungnaá gefa yfirleitt lægri gildi en á lindarvatninu, enda eru lægstu gildin fundin í hreinræktuðu jökulvatni (sjá Sylgju og Þumlu í töflu 2). Þetta gefur til kynna að útleysing sé miklu minni í eða undir jöklinum en í jarðvatninu. Þó ekki séu til beinar mælingar á fosfati má hugsanlega heimfæra þessar niðurstöður hvað varðar jarðalkali-efnin upp á útleysingu fosfats. Sá mismunur sem mældist á fosfati í ósíðu og síðu jökulvatni, sem vakti grunsemdir um uppleyst en aðsogað eða laust bundið fosfat kunni því að eiga sér aðrar orsakir. Sýrumeðferð er m.a. notuð við að mæla apatit bundið fosfat (sjá m.a. Chang & Jackson 1957), því var gerð tilraun til að kanna hvaða áhrif lækun sýrustigs fyrir síun hefði sem slík.

3.2 Tilraun til þess að losa aðsogað eða bundið fosfat með sýrun

Sýnið sem notað var við þessa tilraun er sem næst ósvikið jökulafrennsli. Í því ósíðu reyndist fosfat vera $290 \mu\text{gl}^{-1}$ samanborið við $156 \mu\text{gl}^{-1}$ í lindarvatni við Hófsvað. Jökulaur >1μ reyndist vera 1000 mgl^{-1} í þessu sýni á móti 30 mgl^{-1} í sýnum við Tungnaá/Hófsvað. Í jökulafrennslis-sýninu reyndist laust fosfat vera einungis $12,4 \mu\text{gl}^{-1}$ á móti u.þ.b. 40 í útþynntu sýnunum frá Tungnaá/Hófsvaði (sjá næstu kafla).

Tilraunin gekk út á að sýra sýnið í nokkrum áföngum og var notað til þess 0,1N HCl, sbr. töflu 3.

TAFLA 3

Sýrun jökulvatns úr Tungnaá með 0,1N HCl

pH	Fosfat $\mu\text{g-atl}^{-1}$	Breyting
7,2	0,47	
6,0	0,96	0,49
4,5	1,66	1,19
2,9	4,63	4,16

Fosfat losnar smám saman og á mynd 1, sést að styrkurinn nálgast það sem mældist í ósíðuðu sýni.

Til þess að leiðrétta fyrir mismunandi jökulaur í einstaka tilfellum eru niðurstöður miðaðar við magn svifauris (mynd 1). Fosfat virðist losna ef sýnin eru sýrð ^{fyrir} eftir síun. Styrkur sýrunar við efnagreiningu er mun meiri en mest var notað í þessari tilraun.

Eins og minnst var á í inngangi er land, sem jökull hefur nýverið hopað af, fremur frjósamt og er það álitid vera í tengslum við ferskt rof. Þar eru því talsverðar líkur á því að útleysing úr ferskum jökulaur sé meiri en úr gömlu seti eða jarðvegi, og henni sé ekki lokið að fullu. Var því gerð athugun á því hvort PO_4-P sé meira tengt við eina kornastærð en aðra.

3.3 Tilraunir með fylgni fosfats og mismunandi stórra aulkorna

Í aftasta dálkinum í töflu 1 er styrkur hins bundna hluta fosfats borinn saman við magn svifauris og fást þá gildi frá 0,4-1.4 $\mu\text{g}/\text{mg}$ svifauris ($\phi > 1\mu$) í fyrri sýnaröðinni, en 0,5-1 í þeirri síðari. Breytileikinn er talsverður, einkum í fyrri sýnaröðinni. Það er háð þvermáli, hve hratt þau falla út í vatni. Stærstu kornin falla út fyrst. Þessi eiginleiki var notaður til að finna hvaða kornastærðir draga með sér mest af fosfati. Setkúrfan sýnir að langmestur hluti botnfallsins fellur út á fyrsta klukkutímanum (tafla 4), og með því fellur mikill PO_4-P . Á 2. klst. eykst PO_4-P sem fellur út með botnfallinu meira en þrefalt (tafla 4 og mynd 2).

TAFLA 4

Botnfall svifauris í jökulafrennsli Tungnaár og PO_4-P í botnfallinu

Tími	Svifaur mg l^{-1}	Fosfat ósíað	$\mu\text{g l}^{-1}$ síað	Minnkun í svifaur mg l^{-1}	Minnkun í fosfati $\mu\text{g l}^{-1}$	Fosfat í botnfalli $\mu\text{g P}/\text{mg set}$
0 klst	1031	288	12,4	786	102,3	0,13
1 klst	245	186	9,3	86	62	0,72
2,5 klst	159	124	9,3	41	6	0,15
5 klst	118	118	9,3	63 ¹⁾	3	0,05
29 klst	55	115	9,3			

1) ath. hinn langa tíma (29 klst)

Flaskan sem látið er setjast til í er um 30 cm á hæð og sýni voru tekin um 15 cm fyrir neðan borðið á flöskunni.

Nota má Stokes-lögmál til að reikna út fínustu kornastærð þess sem fellur út eftir tiltekinn tíma (m.a. Svanur Pálsson og Haukur Tómasson 1965). Niðurstöður þess útreiknings eru sýndar í töflu 5. Eins og glögglega sést á mynd 2 fellur út mest af fosfati á tímabilinu milli 1. og 2. athugunar, eða 0,72 µg fosfat á mg set. Útreikningar gefa til kynna að mest falli þannig út með kornastærðum frá u.þ.b. 0,006-0,003 mm í Tungnaá (mynd 2, tafla 5).

TAFLA 5

Fínustu kornastærðir þess sem fellur út í botnfallstilrauninni

Tími	Fínasta kornastærð mm
0,5 klst	0,0077
1,0 klst	0,0055
1,75 klst	0,0041
2,5 klst	0,0034
3,75 klst	0,0028
5,0 klst	0,0024
24 klst	0,0011
29 klst	0,0010

Í Tungnaá eru kornastærðir >0,02 mm yfirleitt 70-80%, og <0,002 mm u.þ.b. 5%. Þetta þýðir að kornastærðir þær sem mest hafa af fosfati eru sennilega miklu minna en 15%, sennilega minna en 10% af heildaraurburði. Hinsvegar benda rannsóknir á jökulvötnum til þess að korn af þessari stærð (0,003-0,006) falli tiltölulega lítið út í jökulónum eða stöðuvötnum. Með því að bera saman kornadreifingu í jökulvötnum eða -lónum og í jökulánum, má sjá hvaða kornastærðir falla mest út. Kornastærðir minni en 0,005 mm (5µm) eru um 80-90% af svifaur, heldur herra í Leginum en í Hvítárvatni og Þórisvatni. Af kornastærðum <0,005 mm eru u.þ.b. 30% á bilinu 0,005-0,002 mm og það sem eftir er

(50-60%) minni en 0,002 mm (Hákon Aðalsteinsson 1976).

Tungnaá hefur nokkurra daga viðstöðu í Krókslóni, inntakslóni Sigöldu-virkjunar. Í júlí voru tekin tvö sýni við austurenda stíflu, u.þ.b. 1 km frá dælupramma, á stað sem var eins langt frá Hnubbafoosum og hægt var að komast án þess að lenda á það svæði sem dælingin hafði áhrif á. Svo virtist sem ákaflega lítið falli út í lóninu, a.m.k. við svona lágt innihald svifauris í Tungnaá (tafla 6).

TAFLA 6

Dags.	Svifaur mg l ⁻¹	PO _{4-P} µg l ⁻¹		Síað ósíað	µg P/mg aur
		ósíað	síað		
1979.07.12	41,3	109,8	38,4	0,35	1,73
1979.07.13	28,4	85,1	37,7	0,44	1,67

Hins vegar er "binding" um það bil tvöföld það sem hún mældist í Tungnaá/Hófsvað, og meir en tvöföld það sem mest fékkst í Tungnaá v/jökul. Þetta gefur tilefni til að álykta að svifaur Tungnaár kynni að eiga ónotaða aðsogsmöguleika og taki upp fosfat jónir jafnóðum og þeir berast með lindarvatni til árinna. Mælingar eru þó fáar og því varlegt að taka einstakar tölur of hátiðlega að svo stöddu.

3.4 Tilraunir með að flokka ólífrænan PO_{4-P} formin

Ýmsar aðferðir hafa verið þróaðar til að skilja milli forma af ólífrænu fosfati í jarðvegi (m.a. Chang & Jackson 1957, Williams o.fél. 1967 og 1976) og seti. Tilraun var gerð til að skilja milli fjögurra fosfat forma, auk fosfats í upplausn.

1. Aðsogaður PO_{4-P}, sem plöntur eiga auðvelt með að taka upp.
2. Fe-bundið fosfat
3. Al-bundið fosfat } kemiskt bundið
4. Apatit fosfat } kristal-bundin

Uppleyst fosfat var mælt í vatninu ofan á setinu áður en hrært var upp í flöskunni.

1. Til eru ýmsar aðferðir til að ná til aðsogaðs fosfats. Við notuðum jónskipti - Resin Amberlite IRA400 Cl-form. Einnig má nota NH_4Cl og NTA (Nitrilotriacetic acid) (Chang & Jackson, Williams o.fl. 1967 og Goltermann 1973). Jónskiptirinn tekur upp laust bundið fosfat úr upplausninni. Síðan er jónskiptirinn síður frá og þveginn og fosfatið losað frá og mælt.
2. Við pH 6-8 og nægilegt súrefni binst fosfat Fe, Mn og Al - samböndum. Innan þessara pH-marka er yfirborðsvatn á Íslandi, Tungnaá t.d. með pH frá 7-8. Til þess að ná til þeirra verður að nota aðferð sem ekki lækkar sýrustig lausnarinnar að marki. Þetta fosfat-form er nefnt "Reductant - soluble P". Grugg er hrært út í 40 ml af lausn sem er 0,22 M Na-citrate ($\text{Na}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) og 0,11 M NaHCO_3 , hitað í 80°C, síðan hrært út í 1 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ í 15 mín og síð. Þessi aðferð nær til Fe-bundins fosfats.
3. Fe- og Al-bundinn PO_{4-P} næst með NaOH meðferð. Eftir meðferð samkvæmt 2. lið er grugg tekið og hrært út í 40 ml 1 M NaOH lausn í 16 klst. Þar sem þegar er búið að einangra Fe-bundinn PO_{4-P} mælir þessi aðferð nær eingöngu Al-bundinn PO_{4-P} .
4. Reiknað er með að það sem þá er eftir sé apatite - bundinn PO_{4-P} . Grugg úr sýninu eftir meðferð samkvæmt lið 3 er hrært út í 40 ml 0,5 M HCl lausn í 21 klst.

Niðurstöður:

Heildarmagn fosfats reyndist vera samtals 340 µg í lítra ósíaðs jökulvatns (tafla 7), sem er ekki fjarri því sem fékkst úr tilrauninni lýst í kafla 3.3, (300 µg), þannig að sennilegt má teljast að allt hafi komist til skila.

Þessi tilraun gefur til kynna að langsamlega stærstur hluti bundins og aðsogaðs PO_{4-P} sé apatite - P eða tæp 90%, hitt er nær eingöngu Fe og Al - bundið fosfat. Tölurnar um Fe - bundið fosfat eru í

TAFLA 7

Niðurstöður tilrauna til að skilja að mismunandi fosfat form. Hrært var í sýnunum í resinlausninni í 6 eða 4 klst. Tölurnar í sviganum sýna gruggheimturnar eftir resinmeóferðina, og eru niðurstöður úr tilrauninum miðaðar við gruggheimturnar

P - form	Sýni 1 1.87 g 6 klst (1.15 g)	Sýni 2 1.55 g 4 klst (1.34 g)	Meðaltal	o/oo af þurrefni
Úppleyst fosfat	16.2 µg/l	22.0 µg/l	18.6	0.019
Aðsogað (1)	1.6 µg/g grugg	0.5 µg/g grugg	1.0	0.001
Fe-bundið (2)	(27.8 µg/g grugg)	(23.1 µg/g grugg)	(25.4)	(0.025)
Al-bundið (3)	13.5 µg/g grugg	19.9 µg/g grugg	16.7	0.017
apatite bundið (4)	223.7 µg/g grugg	330.8 µg/g grugg	277.2	0.28
Samtals			339	0.34

sviga, þar sem nokkur óvissa var um framkvæmd tilraunarinnar. Heildarfosfórinn í Tungnaársvifaurnum svarar til 0,14-0,15 viktsprósenta reiknað sem P_2O_5 , sem er svipað og Sveinn Jakobsson 1979 fær úr basalti frá Veiðivatnasvæðinu: (0,16-0,18 inn við Tungnaárjökul, norðan Tungnaár), en mun minna en frá Torfajökuls-Tindafjalla- og Eyjafjallasvæðinu. Í tilraunum þar sem reynt var að áætla hvaða kornastærðir bindi mest fosfat kom fram að kornin á bilinu 0,003-0,006 mm (3-6 μ m) tóku með sér mest af bundnu fosfati, eða 720 μ g/g, sem svarar til 3,5 mg/g eða 0,35% og nálgast gildi sem Sveinn Jakobsson (1979) fékk í basaltinu suður af Tungnaá.

3.5 Tilraunir með mismunandi síur

Í nokkrum tilfellum voru sýni síuð á millipore síu ($0,2\mu$) auk glerfibersíu (GF/B, ca. 1μ). Þetta var m.a. gert til að kanna hvort glerfibersíurnar láti Si og auki þannig Si í síuðum sýnum meir en eðlilegt má teljast. Niðurstöður voru nokkuð mótsagnakenndar. Í fyrri sýnaröðinni mældist $\text{SiO}_2\text{-Si}$ nokkuð lægri væru millipore-síur notaðar og benti það þá til að eitthvað losnaði úr GF/B síunum. Í seinni sýnaröðinni var hins vegar enginn munur á síaða vatninu hvor sían sem notuð var. Ennfremur virtist enginn munur vera á kísil styrknum í síuðum og ósíuðum sýnum. Ekki var heldur neinn munur á $\text{NO}_3\text{-N}$ í síuðum og ósíuðum sýnum.

Hvað varðar $\text{PO}_4\text{-P}$ reyndist heldur meira verða eftir á millipore en á glerfibersíum. Nam þessi munur að jafnaði 6% sem væntanlega er þá hlutur kornastærða milli $0,2\mu$ og 1μ í aðsogun PO_4 (tafla 8). Með því að gera ráð fyrir að nokkuð fari í gegnum $0,2\mu$ síu af kornum má hækka þessa tölu eitthvað, e.t.v. í 10%.

TAFLA 8

Hlutfall $\text{PO}_4\text{-P}$ í sýni síuðu á millipore ($0,2\mu$) síu og sama sýni ósíuðu, og hlutfall $\text{PO}_4\text{-P}$ og $\text{NO}_3\text{-N}$ í sýnum síuðum á millipore og glerfibersíu

Dags.	Kl.	Fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$)		$\text{NO}_3\text{-N}$
		MP / ósíað	MP / GF/B	MP / GF/B
1979.07.11.	02.00	0,41	0,90	1,2
1979.07.11.	08.30	0,41	0,92	1,2
1979.07.11.	17.00	0,56	0,95	1,2
1979.07.12.	00.30	0,53	0,98	1,2
1979.07.12.	07.50	0,52	0,85	1,2

Öllu undarleggra er að u.þ.b. 20% batist við $\text{NO}_3\text{-N}$ við að nota millipore síur miðað við að nota GF/B. Hins vegar kom það fram, að enginn munur er á ósíuðu og síuðu á GF/B hvað varðar $\text{NO}_3\text{-N}$. Enga skýringu kann ég á þessu, en óþarft virðist með öllu að nota síun við mælingu á $\text{NO}_3\text{-N}$.

4 ÁLYKTANIR OG FREKARI MÆLINGAR

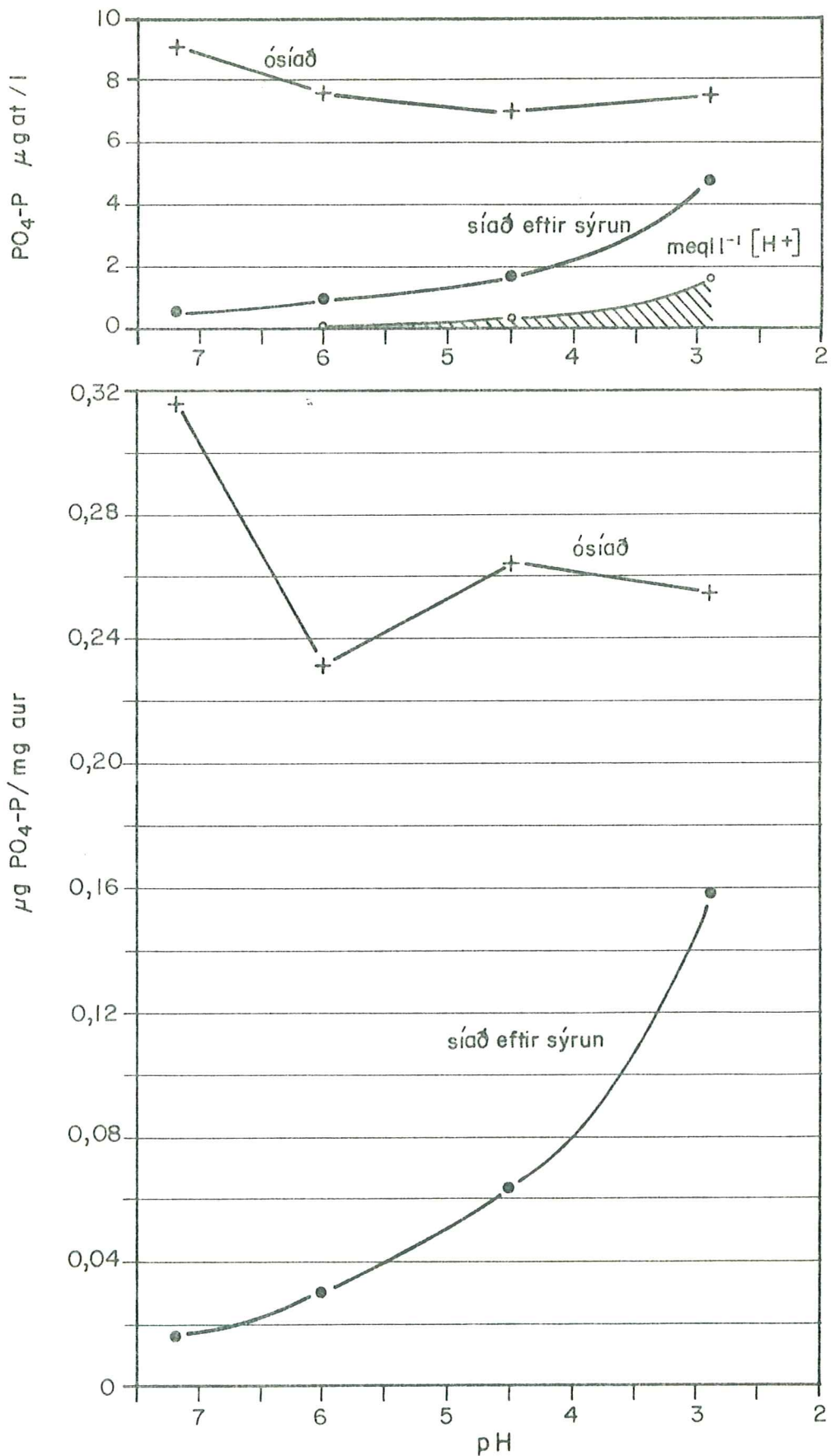
Þetta eru bráðabirgðaniðurstöður og verða aðeins notaðar til að leiðbeina um framhald rannsókna. Ljóst er að aðferðirnar þarf að reyna betur. Rannsaka þarf betur einstaka kornastærðir og finna það út með meiri nákvæmni hvaða kornastærð hefur mest fosfat í sér eða á. Séu niðurstöður af tilraun okkar marktækar, eru þetta kornastærðir, sem síður falla úr í lónum og jökulvötnum, og færi þá megnið af næringarsöltunum áfram til sjávar.

Svo virðist sem aðsog (adsorption) og útsog (desorption) kísils og fosfats séu með öfugum hætti (antagonistiskar) að nokkru leyti. Kísilstyrkur ána er háður temprun. Meðaltal fyrir árvatn í heiminum er u.þ.b. 13 mg l^{-1} (Livingstone 1963, í Edwards og Liss 1973), og er meðaltalsfrávikkið fyrir þetta gildi aðeins um fimmti hluti þess, sem gildir fyrir öll uppleyst efni. Ástæðan er sú að við há gildi af kísil aðsogast hann ögnum í vatninu, en agnirnar sleppa hinsvegar kíslinum, þegar styrkur hans er lágur í vatninu. Hvað varðar fosfat, þá aðsogast hann einnig eftir svipuðum lögmálum og kísill, en hinsvegar hefur kísill nokkurn forgang. Fosfat kemst ekki að þegar kísill aðsogast og því er jafnvel sleppt til að geta tekið upp kísil (Mayer & Gloss 1980). $\text{PO}_{4\text{-P}}$ styrkurinn virðist hinsvegar engin áhrif hafa á SiO_2 aðsogun eða útsogun. Það er því óhjákvæmilegt að taka tillit til kísilstyrksins við rannsóknir á fosfat bindingu og leysni.

Auk rannsókna á bindingu $\text{PO}_{4\text{-P}}$ og SiO_2 við mismunandi kornastærðir, kemur til álita að mæla bæði Fe og Al og e.t.v. fleiri efni, og gera vissar bergfræðilegar greiningar.

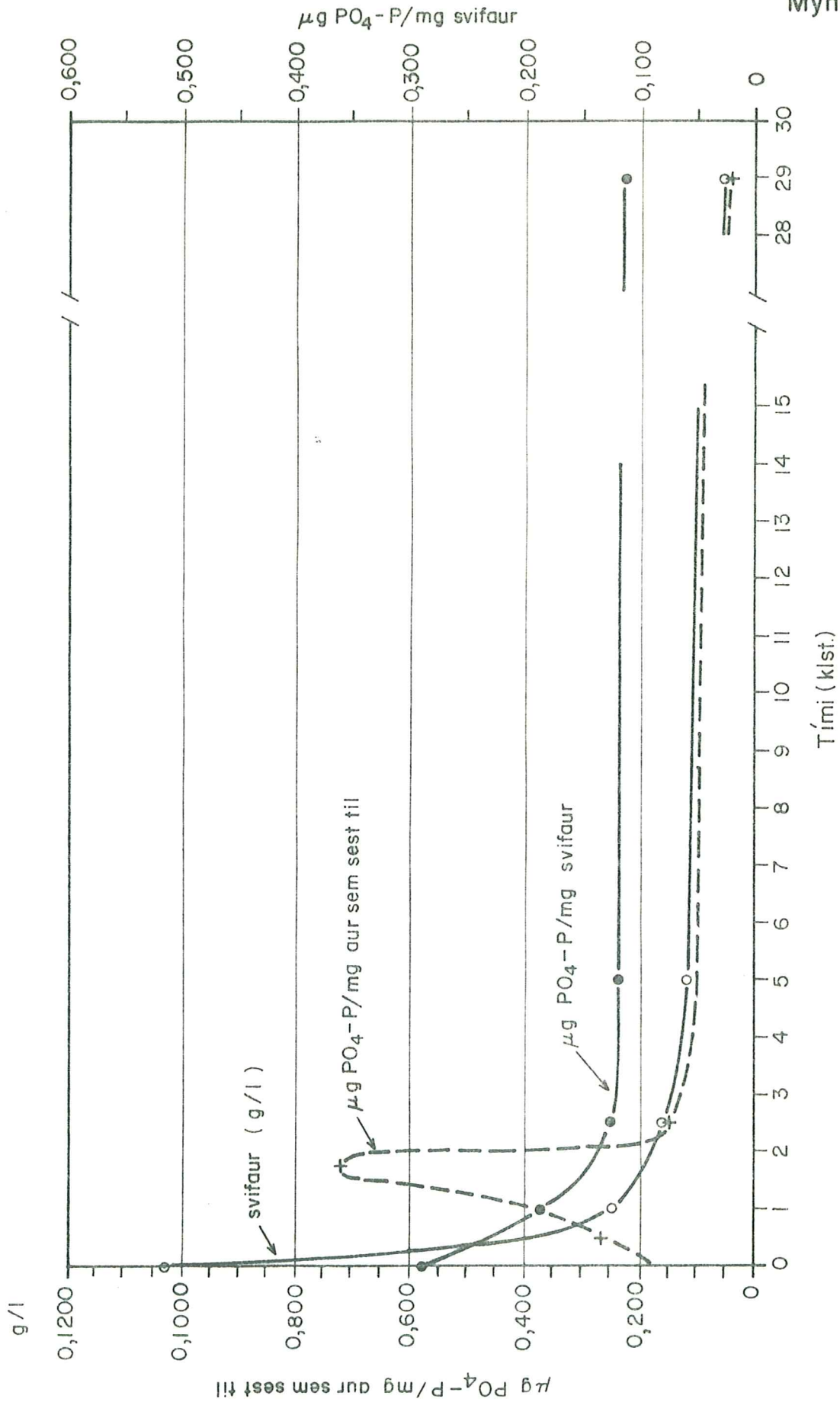


Mynd I





Mynd 2



HEIMILDASKRÁ

- Brundin, L., 1956: Die Bodenfaunistischen Seetypen und ihre Anwendbarkeit auf die Südhalbkugel. Zugleich eine Theorie der produktionsbiologischen Bedeutung der glazialen Erosion. Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm 37:186-235.
- Chang, S.C. and Jackson, M.L., 1957: Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. 84:133-144.
- Edwards, A.M.C. and Liss, P.S., 1973: Evidence for buffering of dissolved silicon in fresh waters. Nature 243:341-342.
- Goltermann, H.L., 1973: Natural phosphate sources in relation to phosphate budgets: A contribution to the understanding of eutrophication. Water Res. 7:3-17.
- Halldór Kjartansson, 1971: Leirkönnun 1971, framvinduskýrsla. Orkustofnun okt. 1971.
- Hákon Aðalsteinsson, 1976: Lögurinn, svifaur, gegnsæi og lífríki. OS-ROD7609.
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1979: Alteration of basaltic rocks by hydrothermal activity at 100-300°C. International Clay Conference 1978; 359-367.
- Jón Ólafsson 1979: The chemistry of Lake Mývatn and River Laxá, Oikos 32:82-112.
- Kjensmo, J., 1972: Gjende. A glacier-fed mountain lake. Verh. Internat. Verein Limnol. 18:343-348.
- Mayer, L.M. and Gloss, S.P., 1980: Buffering of silica and phosphate in a turbid river. Limnol. Oceanogr. 25:12-22p
- Stumm, W. and Morgan, J.J., 1970: Aquatic chemistry. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. 583 s., New York.
- Svanur Pálsson og Haukur Tómasson, 1965: Skýrsla um aurburðarrannsóknir 1963-1964. Raforkumálastjóri, ágúst 1965.

- Sveinn P. Jakobsson, 1972: Chemistry and distribution pattern of recent basaltic rocks in Iceland. *Lithos* 5:365-386.
1979. Petrology of recent basalts of the eastern volcanic zone, Iceland. *Acta Nat. Isl.* 26; 103 s.
- Vasshaug, Ö., 1966: To bre-slamsjöer í Vest-Norge. *Bergen Jæger og Fiskerfören, årbog* 1966.
- Williams, J.D.H., Syers, J.K. and Walker, T.W., 1967: Fractionation of soil inorganic phosphate by a modification of Chang and Jackson procedure. *Soil Sci.* 31:736-739.
- Williams, J.D.H., Jaquet, J.M. and Thomas, R.L., 1976: Forms of phosphorus in the surficial sediments of Lake Erie. *J. Fish Res. Bd. Canada* 33:413-429.