



ORKUSTOFNUN
Vatnsorkudeild

Hákon Aðalsteinsson

TENGSL SVIFAURS OG GAGNSÆIS Í JÖKULSKOTNUM STÖÐUVÖTNUM

OS81027/VOD12

Reykjavík, desember 1981



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Hákon Aðalsteinsson

TENGSL SVIFAURS OG GAGNSÆIS Í JÖKULSKOTNUM STÖÐUVÖTNUM

OS81027/VOD12
Reykjavík, desember 1981

ÁGRIP

Síðan 1974 hafa ýmsar rannsóknir verið gerðar á jökulskotnum stöðuvötnum, einkum með tilliti til áhrifa svifaurs á gegnsæi og þar með lífsskilyrði plöntusvifs. Hér eru teknar saman helstu niðurstöður þeirra rannsókna.

Fljótlega kom í ljós að samband rýnis og gegnsæis (transmission) fylgdi ekki sömu einföldu reglu og í venjulegum stöðuvötnum, þar sem áætla má 1% gegnsæi með því að margfalda rýni með u.p.b. 2,7. Í jökulskotnum vötnum var þessi margföldunartala breytileg, frá u.p.b. 3 í Leginum (svifaur 50 mg/l) til u.p.b. 8 í Þórisvatni (svifaur 10-15 mg/l). Hún lækkar síðan aftur eftir því sem svifaur minnkar. Skýringin er talin felast í breytilegu hlutfalli milli ljósgleypni og ljósdreifingar, ásamt bakgrunnsdreifingu ljóssins. Í jökulvatni nær rauða ljósið lengst, en bláa styst, sem er þveröfugt við það sem er í tæru vatni, þar sem uppsogun rauða og bláa ljóssins í þörunga veldur því að græna ljósið nær oftast lengst. Þessa gætir einnig í jökulskotnum vötnum með litlum svifaur, t.d. í Austurbotni Þórisvatns og Langasjó. Dýpi það sem gefur 1% gegnsæi (1% af yfirborðsljósi) hefur mælst minnst í Leginum, eða frá 0,6 - 1,1 m, en 3-6 m í Þórisvatni.

Tilraun var gerð til að líkja eftir magni og kornastærðardreifingu svifaurs jökulskotinna vatna með því að þynna vatn úr jökulá og fjarlægja verulegan hluta svifaursins með því að láta þann grófasta setjast til. Ljósgleypni (eða dvinun) mæld á rannsóknarstofu reyndist fara mjög eftir kornastærðardreifingu svifaursins, og var mest þegar kornin voru smá. Borið var saman útreiknað gegnsæi úr ljósgleypnimælingum á rannsóknarstofu og beinar mælingar í stöðuvötnum og fundinn stuðull til að breyta niðurstöðum ljósgleypnimælinga í gegnsæi í jökulvatni. Með þessum stuðli og eftirlíkingum af jökulskotnum vötnum í mismunandi ám, mætti reyna að geta sér til um gegnsæi það sem yrði í nýjum jökulskotnum miðlunararlónum. Eftirlíking af Blöndulóni gaf til kynna að við 20 mg svifaurs í lítra, yrði 7-8% gegnsæi á 1 m, og 1% gegnsæi á rösklega 2 m dýpi. Áður en þessháttar spár yrðu settar fram í alvöru þarf frekari rannsóknir og útreikninga á því sem eftir yrði af svifaur í miðlunararlónum og frekari staðfestingu á samsvörun kornastærðardreifingar í slíkum lónum óháð innrennslisvatni. Ennfremur eru erfiðleikar við að mæla svifaurinn þegar hann er litill eins og t.d. í Þórisvatni.

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	3
EFNISYFIRLIT	5
TÖFLUSKRÁ	6
MYNDASKRÁ	6
1 INNGANGUR	7
2 AÐFERÐIR	8
3 GEGNSÆI OG SVIFAUÐ	9
3.1 Um gegnsæi	9
3.2 Svifaður í jökulskotnum stöðuvötnum	10
3.3 Mælingar á dvínun ljóss í jökulskotnum vötnum	13
3.4 Dvínun mismunandi hluta litrófsins	14
3.5 Rýni sem gegnsæismælikvarði í jökulskotnum vötnum ..	21
3.6 Mælingar á rannsóknastofu	24
4 HEILDARNIÐURSTÖÐUR OG ÁLYKTANIR	28
HEIMILDASKRÁ	29

TÖFLUSKRÁ

bls.

1	Magn og körnastærðardreifing svifaurs á mælistöðvum í jökulskotnum vötnum	12
2	Magn og framleiðni plöntusvifs í nokkrum vötnum, þá daga sem ljósmælingar voru framkvæmdar	21

MYNDASKRÁ

1	Samband ljósgleypni og svifaurs í Þórisvatni	11
2	Dvínun ljósstyrks við að fara í gegnum vatn í Leginum	14
3	Dvínun ljóss í vesturhluta Þórisvatns, frá júlí 1977	15
4	Dvínun ljóss í vesturhluta Þórisvatns, frá ágúst 1977	16
5	Dvínun ljóss í Hvítárvatni	17
6	Dvínun ljóss í Langasjó	18
7	Dvínun ljóss í Þrístiklu	19
8	Mæling á dvínun (extinction) ljóss af bylgjulengdum frá 400-800 nm í meðhöndluðu sýni úr Jökulsá í Fljótsdal	20
9	Samband gegnsæis mælt með rýnisskífu og beint með selenfótocellu ($T_{1\%}$)	22
10	Dvínun ljóss í sýnum með mismunandi kornastærðardréifingu úr Blöndu og Koldukvísl	25
11	Niðurstöður mælinga á gegnsæi þar sem mælt var beint með ljósmæli og útreiknað úr mælingu á ísogi í ljósgleypnimæli	26

1 INNGANGUR

A árabilinu 1974-1979 voru af og til gerðar ljósmælingar í nokkrum jökulskotnum stöðuvötnum í þeim tilgangi að finna samband gegnsæis, svifaurs og plöntusvifs. Sumt af þessu efni hefur þegar birst (Hákon Aðalsteinsson 1976 a og b). Ennfremur voru gerðar tilraunir inni á rannsóknastofu með gegnsæi í sýnum sem mismikið af grófasta aurburðinum hafði verið fellt úr.

Þessar rannsóknir eru liður í viðleitni Orkustofnunar til að afla þekkingar á hugsanlegum áhrifum virkjana á umhverfi sitt. Flestar virkjanir sem nú eru áformaðar og áætlanir eru til um snerta jökulár, og oft er um flutning milli vatnakerfa að ræða, og þá stundum á jökulá yfir í tært vatn eins og t.d. Þórisvatn. Það þarf ekki mikil kynni af jökulvatni til að sjá, að ein mikilvægustu áhrrif jökulvatns á vatnalíf eru tengd áhrifum þess á gegnsæi vatnsins og þar með á það ljósmagn sem tillífendum stendur til boða.

2 AÐFERÐIR

Gegnsæi í vötnunum var annarsvegar ákvarðað með rýnisskífu og hinsvegar
beint með "selenfótóselli", og er mæliaðferðunum gerð skil hjá Hákoni
Aðalsteinssyni (1976 a).

Allar mælingar á magni og kornastærðardreifingu svifaurs gerði Svanur
Pálsson á aurburðarstofu OS. Notuð var svokölluð setvogarmæling og er
aðferðinni lýst af Hauki Tómassyni og Svani Pálssyni (1968).

Við mælingar á gegnsæi eða öllu heldur uppsogun ljóss í sýnum af mismun-
andi gerðum var fenginn aðgangur að ljósgleypnimæli (spectrophotometer)
af Beckman gerð (Beckman 25) á Hafrannsóknarstofnuninni.

Að öðru leyti er mæliaðferðum og gagnameðferð gerð skil í texta, þegar
tilefni gefst.

Við aurburðarmælingar er reiknuð út kornastærðardreifing auk heildar-
aurburðar. Aurburðinum er því skipt í:

1. Korn $> 0,2$ mm (sandur)
2. Korn $0,02 - 0,2$ mm (mór)
3. Korn $0,002 - 0,02$ mm (méla)
4. Korn $\leq 0,002$ mm (leir)

Korn minni en $0,002$ mm, s.k. leir, eru hér á landi yfirleitt ekki leir-
steindir, heldur mulið berg og gjóska.

3 GEGNSÆI OG SVIFAUÐ

3.1 Um gegnsæi

Þegar ljós fer í gegnum vatn, dregur úr styrk þess, vegna ísogs (absorption) og dreifingar (scattering). Samanlagt verða áhrifin ákveðin dvínun ljóssins, sem táknuð er með E (extinction); oft sem E%. Gegnsæið (T) er á hinn böginn mælikvarði á hversu mikið ljós kemst í gegn, gjarnan gefið sem T%, þ.e. sem hlutfall af yfirborðsljósi. $T\% = 100-E\%$.

Svifaður hefur mest áhrif á dvínun ljóssins, en uppleyst ólifræn efni yfirleitt lítil sem engin. Upplýst lífræn efni, svokölluð "húmus-efni" lita stundum vötn í skóglendi, og er litnum helst að líkja við koníak. Grugg eins og algengt er að sjá í grunnum vötnum hérlendis á ekkert skyld við þetta, því þar eru að verki upphrærðar agnir úr botn-inum bæði af lífrænum og ólifrænum toga.

Vatn virkar sem sigti á mismunandi bylgjulengdir ljóssins. Hlutfallið milli ísogs og dreifingar, og þar með ásýnd vatnsins fyrir þann sem skoðar, fer eftir "kornastærð" þess sem dreifir. Ef "agnirnar" eru minni en eða jafnstórar og bylgjulengdin, er styrkur dreifingarinnar í öfugu hlutfalli við bylgjulengdina í 4. veldi ("Rayleigh scattering"). Í hreinu vatni hafa vatnssameindirnar mest áhrif á dreifinguna, og dreifa og endurvarpa best bláu ljósi sem veldur því að vatnið sýnist blátt í stórum djúpum vötnum.

Jökulárnar, sem mestan aurburð hafa, taka meira eða minna lit af jökul-aurnum, enda er kornastærðin yfirleitt að mestu langt yfir bylgjulengd-inni, en það þýðir að áhrif kornanna á ísog eða dreifingu er lítt velj-andi.

Í jökulskotnum stöðuvötnum fellur grófasti aurinn út mjög fljótt, og þar með minnkar svifaðurinn og verður hlutfallslega fínkornóttari. Litur jökulvatna er frá ljósgráu eða hvítu og út í grænt í þeim vötnum sem minnst hafa af jökulaurnum að segja.

Hér á eftir er eingöngu fjallað um jökulskotin stöðuvötn, og reynt að varpa ljósi á það sem ræður gegnsæi í þeim.

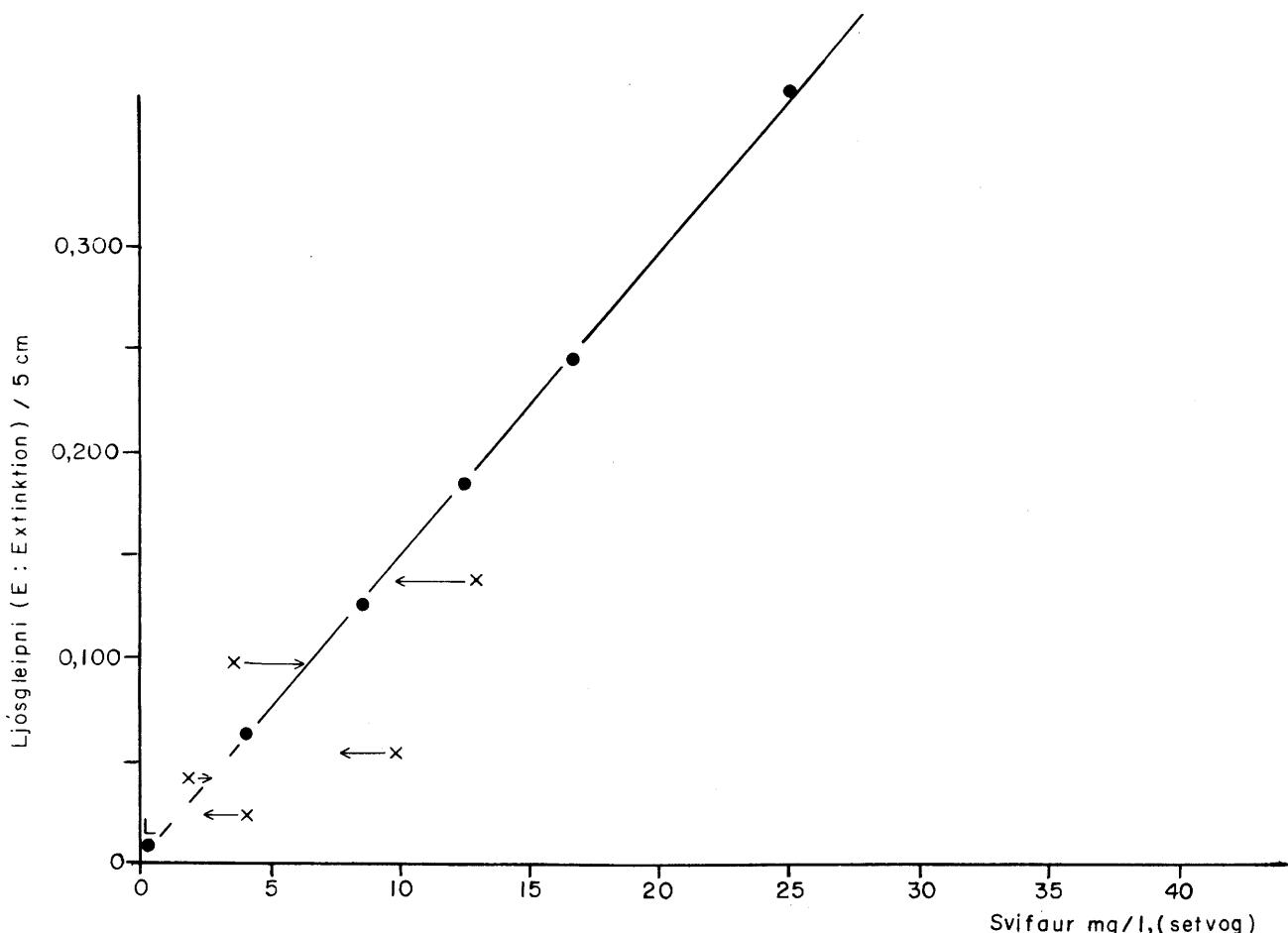
3.2 Svifaur í jökulskotnum stöðuvötnum

Mælingar á svifaur í jökulskotnum stöðuvötnum hafa verið gerðar óbeint, frá 1962-1970 í Lagarfljóti við Lagarfoss og frá 1967 í Hvítá við Hvítárvatn. (Haukur Tómasson o.fl. 1973). Þessar mælingar voru gerðar á sýnum af útrennslisvatni jökulskotinna stöðuvatna og ættu því að gefa ágæta hugmynd um kornastærðardreifingu í slíkum stöðuvötnum. Sem vænta má ber meira á fínnum kornum ($< 0,020$ mm) í þeim en almennt í jökulánum. Hinsvegar er viðmiðunin 0,02 mm óheppileg til að greina á milli korna sem auðveldlega setjast til og korna sem setjast seint eða ekki. Athugun á kornastærðarlínuritum gefur til kynna að heppilegt sé að miða við u.p.b. 0,005 mm í þessu tilliti, og hefur það verið gert við beinar mælingar í stöðuvötnum, sem voru fyrst gerðar 1974 í Þórisvatni og 1975 í Hvítárvatni og Leginum. Nokkrar mælingar voru gerðar á sýnum úr Þórisvatni og Langasjó 1976. Svifaursmagn það sem mældist í þeim, mest um 10 mg/l, er vart mælanlegt beint af viðunandi nákvæmni með setvogarmælingunni. Svanur Pálsson telur skekkju í mælingu fínustu kornastærðanna allt að 4-5 mg/l.

Talsverð óvissa er því um marktækni lægstu mæligildanna í töflu 1, sem sýnir niðurstöður nokkurra mælinga á svifaur í stöðuvötnum. Niðurstöðurnar gefa til kynna, að kornastærðardreifing í slíkum vötnum sé furðulík, þrátt fyrir mismunandi kornastærðardreifingu svifaurs í innrennslisvatni, ef viðstaða vatnsins er nægilega löng. Samanburður á mæligildum úr Leginum við Atlavík, sem er nærri innrennslinu, og Leginum við Egilstaði, sem er nærri útfallinu, gefa hugmynd um þýðingu viðstöðu vatnsins, þ.e. þátt tímans í botnfalli auragnanna. Í júní fellur hlutur grófra korna ($> 0,005$ mm) úr 18 í 7% frá Atlavík að Egilstöðum, og í ágúst úr 11 í 6%. Í jökulskotnum vötnum virðist um 80-90% af svifaurnum vera minni en 0,005 mm í þvermál, með fyrirvara um mælingarerfiðleikana. Til þess að reyna að sneiða hjá þeim erfiðleikum var gripið til þess að reyna að nota samband milli svifaursmagns og ljósgleypni. Til þess að fá lykil að slíkri viðmiðun var vatn tekið úr Koldukvíslarskurði og látið setjast til, þar til komin var kornastærðardreifing lík þeirri sem fékkst í Leginum. Hæfilegur settími reyndist vera um 14 klst. Svifaur í þessu Koldukvíslarsýni mældist 25 mg/l eftir að aurinn, sem settist til, hafði verið fjarlægður, og miðað við áðurnefnd skekkjumörk setvogarmælinganna, er gefin spönn frá 2-23% fyrir gróf korn og 77-98% fyrir

fin korn (mynd 1). Skekkja til eða frá í heildarsvifaursmagni um 5 mg/l breytir halla línuritsins, og getur munað 1-2 mg/l í leiðréttum gildum fyrir Pórisvatn (í sviga í töflu 1). Þessi leiðréttu gildi fyrir Pórisvatn eru höfð til hliðsjónar við úrvinnslu (sbr. kafla 3.6).

Í Leginum eimdi enn, sumarið 1975, eftir af mikilli aukningu sem varð á aurburði Jökulsár í Fljótsdal í kjölfar framhlaups Eyjabakkajökuls haustið 1972. Venjuægur svifaur í Leginum virðist vera um helmingi minni en þá mældist (sjá Hákon Aðalsteinsson 1976 a, töflu 4).



- Útbrynnningar vatns úr Köldukvíslarskurði 1977.07.07. > 0,005 mm < 0,005 mm %
2-23 77-98
- × Pórisvatn (76.08.25-28)
- L Langisjör (76.08.31.)

VOD-UR-847 HA
81.08.0956

MYND 1

Samband ljósgleypni og svifaurs í Pórisvatni, fengið með aðlögun að bynnu sýni úr Köldukvísl, sem grófasti aurinn hafði verið látinna setjast úr, sjá mynd 9, línurit 4.

TAFLA 1

Magn og kornastærðardreifing svifaurs í jökluskotnum stöðuvötnum. Fyrir þórisvatn eru gefin í sviga mæligildi sem fengin eru út frá sambandi svifaurs og ljósgleypni (sjá texta). Kornastærð í mm.

- 12 -

Kornastærðardreifing mg/1

Vötn	Dags.	Rýni Svifaurs (m)	0,062 mg/1	>0,062 0,005	0,062- 0,0017	0,005- <0,0017	>0,062 >0,0017	0,062- 0,005	0,005- 0,0017	<0,0017
Kornastærðardreifing %										
pórisvatn við Grasatanga	11.09.74	0,5	16	0,2	4	5	7	1	25	31
" "	25.08.76	0,7	10(3,6)	-	0,8	3	6	-	8	31
" "	07.07.76	0,6	12,9(9,2)	-	1,5	4,4	7	-	12	34
" " Austurbotn	06.07.76	0,8	3,5(6,4)	0,6	1,5	1,4	-	17	43	40
Hvítárvatn	11.07.75	0,6	15	-	3	10	2	-	20	67
Lögurinn við Atlavík	12.06.75	0,3	56	1	9	17	29	2	16	30
" " Egilssstaði	13.06.75	0,3	55	1	3	9	42	2	6	16
" " Atlavík	22.08.75	0,15	137	0	15	35	87	0	11	26
" " Egilssstaði	27.08.75	0,18	92	0	6	26	60	0	7	28
				>0,005		<0,005		>0,005		<0,005
pórisvatn við Grasatanga	11.09.74	4	4	12	26	26	74	74	8	92
" "	25.08.76	0,8	0,8	9	8	8	88	88	12	88
" "	07.07.76	1,5	1,5	11,4	11,4	11,4	80	80	20	80
Hvítárvatn	11.07.75	3	3	12	12	12	82	82	18	82
Lögurinn við Atlavík	12.06.75	10	10	46	46	46	93	93	7	93
" " Egilssstaði	13.06.75	4	4	51	51	51	89	89	11	89
" " Atlavík	22.08.75	15	15	122	122	122	6	6	6	94
" " Egilssstaði	27.08.75	6	6	86	86	86				

3.3 Mælingar á dvínun ljóss í jökulskotnum stöðuvötnum

Ljóstillifunarlagið í vatnsbol (pelagial) stöðuvatna er það lag þar sem ljóstillífun þörunga gerir meira en að standa undir rekstri þeirra (öndun og hrörnun). Það er gjarnan látið samsvara því dýpi, sem 1% af yfirborðsljósini nær (T 1%).

Algengt er að notast við óbeina mælingu á gegnsæi með rýnisskífu (secchi disk), kallað rýni (secchi depth). Rýnið er það dýpi þar sem hvít skífa, 20-25 cm í þvermál hverfur sjónum manns. Samanburður við beinar mælingar með ljósmæli hefur gefið tilefni til þeirrar þumalreglu, að T 1% sé 2,3 - 2,7 sinnum rýnið í stöðuvötnum og sjó, þar sem þörungar ráða mestu um dvínun ljóssins og þar með gegnsæið (Holmes 1970, Sherwood & Gilbert 1974).

Svo sem lýst er hjá Hákonni Aðalsteinssyni (1976 a) hefur **eiginn** litur, þ.e. bakgrunnurinn, áhrif á skerpu skífunnar, og var því notuð skífa sem skipt er í hvíta og svarta geira til að auka skerpuna.

Rýnisskífan er langódýrasta tækið til að áætla gegnsæi, en bein ljósmæling hinsvegar áreiðanlegust. Við beina mælingu var notuð "selenfótosella," sem sökkt var á mismunandi dýpi, frá yfirborði og niður á 8 m dýpi. Þar sem gegnsæið (T 1%) var meira en 8 m var línan sem fékkst úr mælingunum framlengd, en reynslan leyfir það. Dvínun ljóssins fylgir lögmáli Lamberts sem segir:

$$I_i = I_o \cdot e^{-k \cdot i}$$

þar sem:

I_o : yfirborðsljós

I_i : ljós á dýpinu i

K : dvínunarstuðull

Í jökulskotnum vötnum ætti dvínunarstuðullinn (attenuation coefficient, extinction (E)) fyrst og fremst að vera háður svifaurnum. Í rannsóknarstofu voru gerðar nokkrar tilraunir með samband dvínunarstuðulsins og svifaurs (styrks og samsetningar).

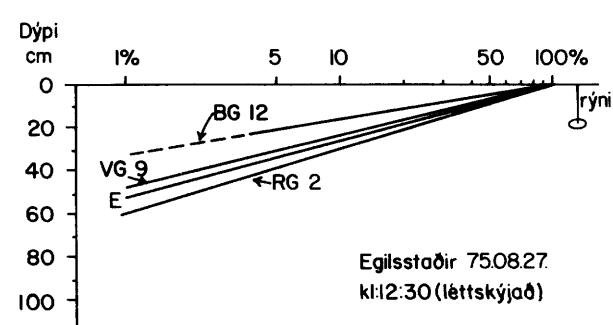
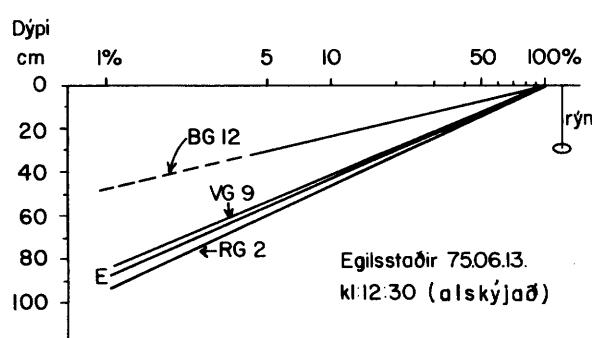
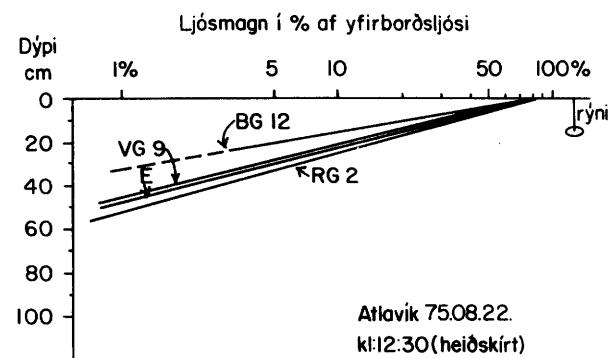
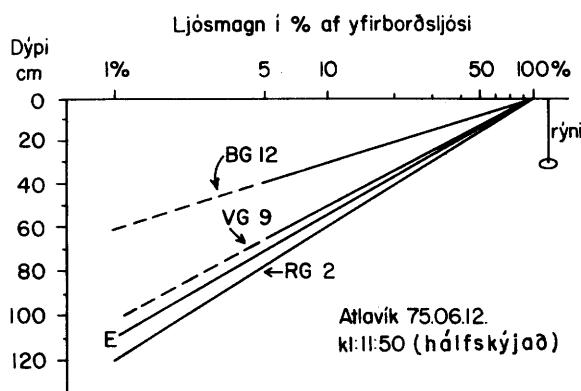
A ljósmælinn sem notaður var mátti setja mismunandi ljóssiur, sbr. mynd 2, og ákvarða þannig gegnsæi fyrir mismunandi hluta litrófsins.

Í síðustu mælingunum var farið að draga af "fótosellunum" í mælinum, og kom það fyrst niður á bláu síunni, og var ekki hægt að nota niðurstöður úr mælingum á BG 12 úr síðustu mælingunum sem gerðar voru.

3.4 Dvínun mismunandi hluta litrófsins

Á myndum 2-6 eru sýndar mælingar á ljósdvínun í nokkrum jökulskotnum vötnum, og á mynd 7 er mæling í tæru fjallavatni. Í þessum mælingum kemur fram greinilegur munur á jökulskotnum vötnum og tærum vötnum annarsvegar og innan hinna jökulskotnu vatna hinsvegar.

Í Leginum, sem var áberandi mest aurborinn (50-100 mg/l á móti 10-20 mg/l í hinum), hverfur blái liturinn, þ.e. ljós af stuttum bylgjulengdum fyrst, en rauði liturinn, þ.e. ljós af lengstu bylgjulengd, nær dýpst.



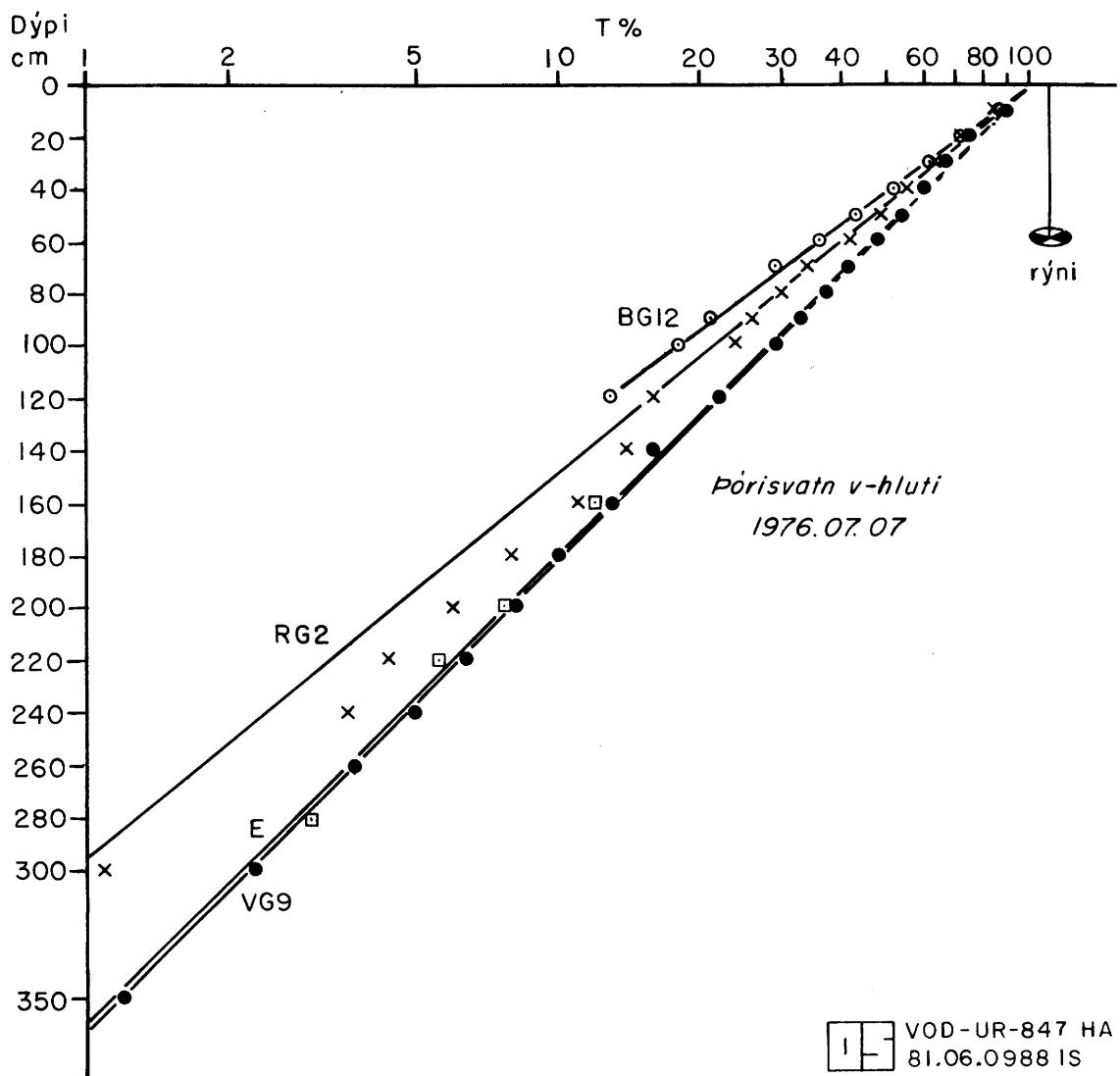
Fnr. I3959

MYND 2

Dvínun ljóss við að fara í gegnum vatn í Leginum. Hlutfall af yfirborðsljósi. BG 12 hleypir bláu í gegn, VG 9 hleypir grænu í gegn, RG 2 " rauðu ", E er ósíð ljós.

í Þórisvatni og Hvítárvatni hverfur blái liturinn einnig fyrst, en græni liturinn fer hinsvegar lengst niður, og því lengra niður miðað við þann rauða, sem minna er af svifa. í tæra vatninu hverfur rauði liturinn hinsvegar fyrst, og sá græni nær lengst niður.

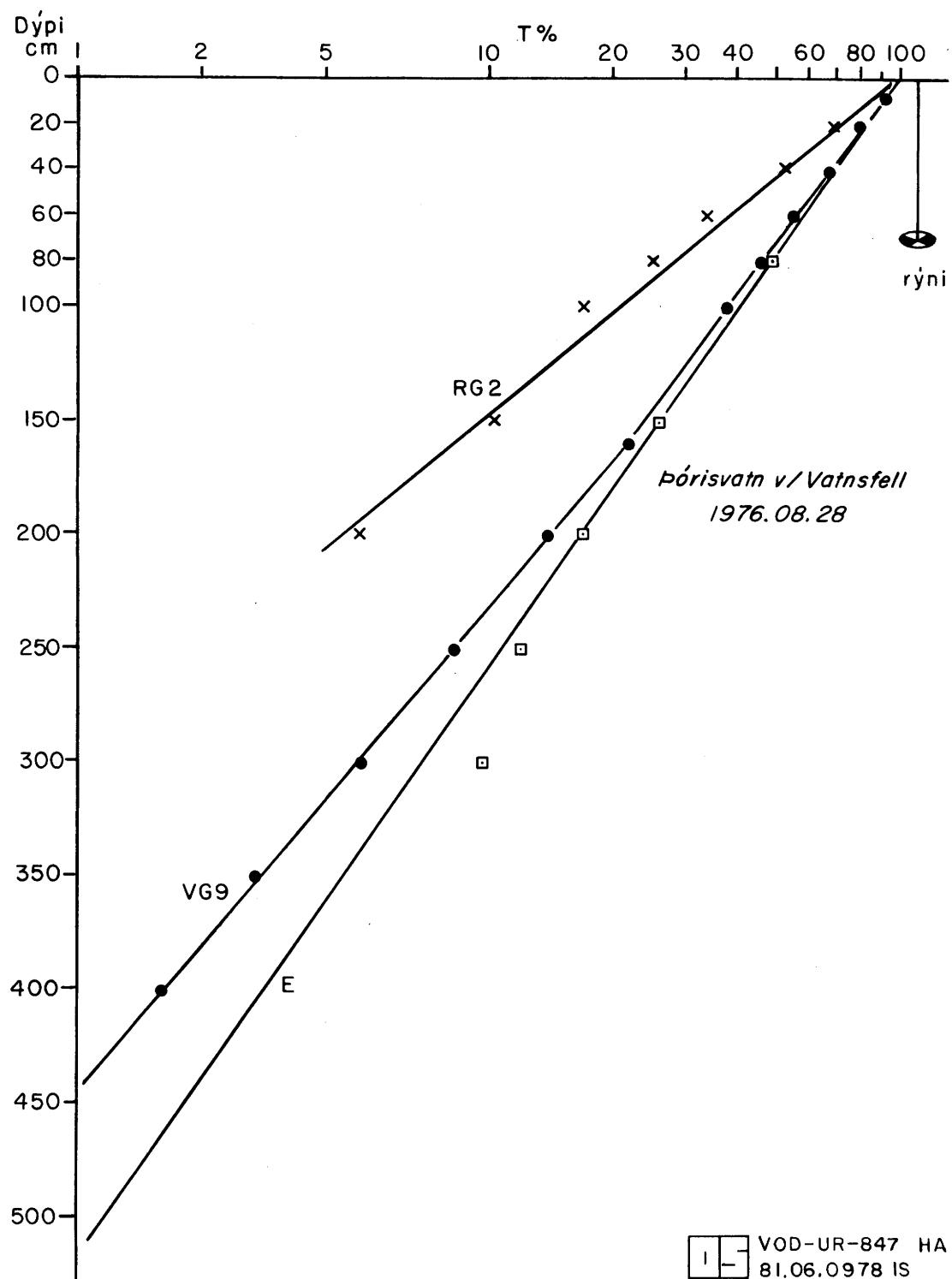
Þrátt fyrir mismunandi kornastærðardreifingu í aðrennsli jökulskotinna vatna (Haukur Tómasson 1976; og Haukur Tómasson o.fl. 1973), er kornastærðardreifingin í vötnum sjálfum líklega furðulík, þannig að í vötnum með nægilega viðstöðu vatns fellur mestallt stærra en 5μ (0,005 mm) út, og hlutfall korna minni en 5μ verður sambærilegt (tafla 1). Lögurinn hefur heldur hærri hlutdeild leirkornastærða, enda sker Jökulsá í Fljótsdal sig úr miðað við aðrar jökulár hvað varðar innihald af leirkornastærðum (Haukur Tómasson 1976).



MYND 3

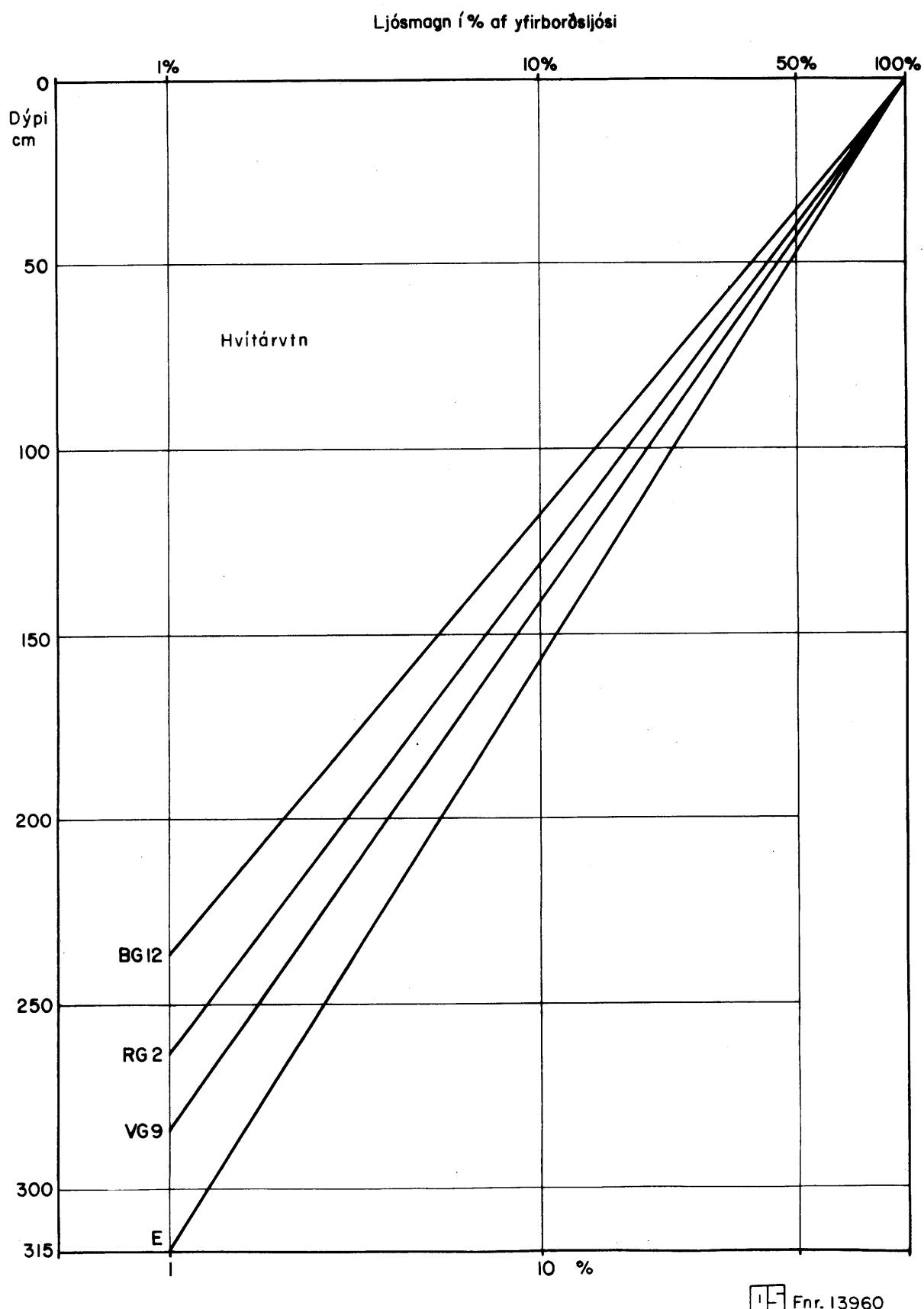
Dvínun ljóss í vesturhluta Þórisvatns, frá júlí 1977.

VOD-UR-847 HA
81.06.0988 IS



MYND 4

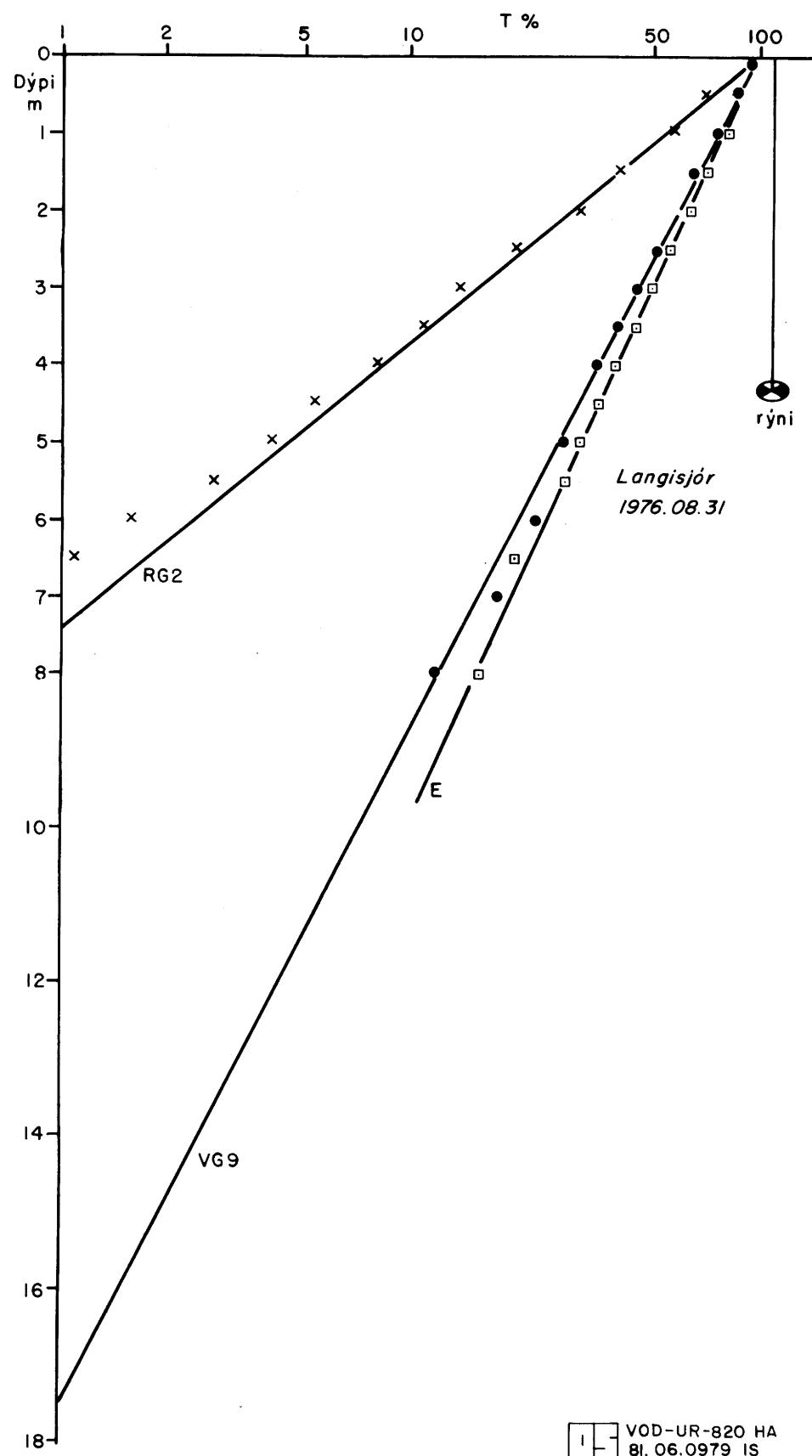
Dvínun ljóss í vesturhluta Pórisvatns frá ágúst 1977.



IS Fn. 13960

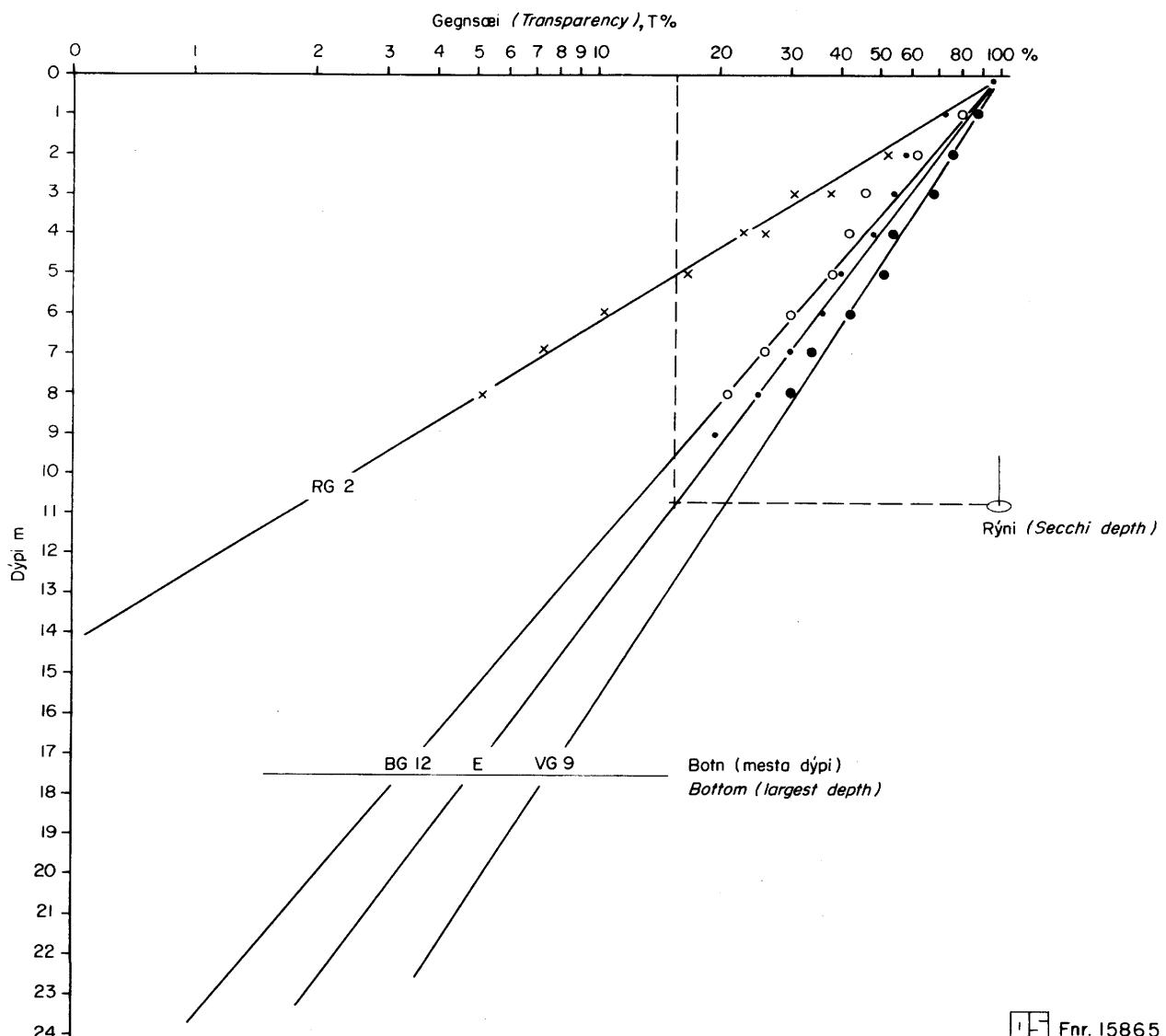
MYND 5

Dvínun ljóss í Hvítárvatni í júlí 1975.



MYND 6

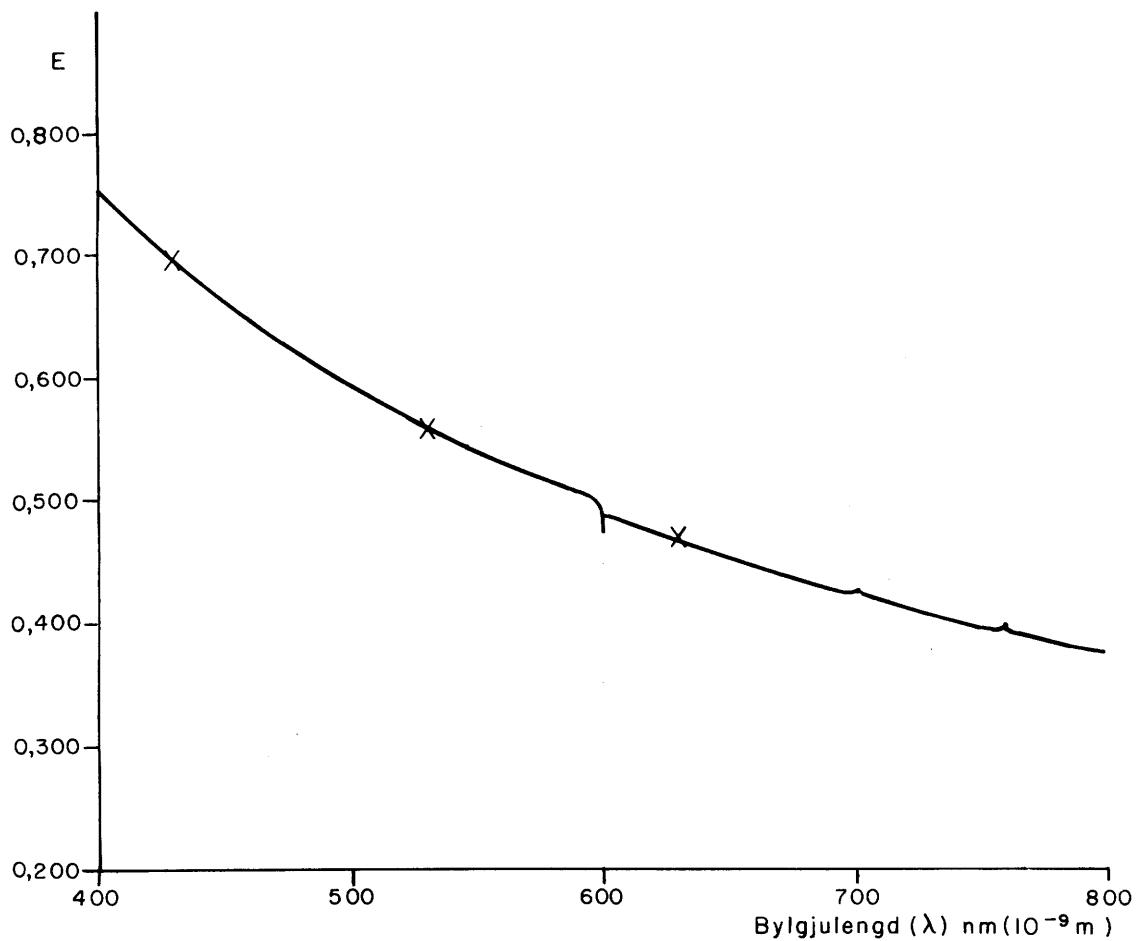
Dvínun ljóss í Langasjó 31. ágúst 1976.



MYND 7

Dvínun ljóss í þristiklu í júní 1975.

Á rannsóknastofu var reynt að láta svifaur setjast til eins og búast má við að gerist í stöðuvötnum, sem jökulár falla í (sjá nánar í 3.5) Stuðst var við sömu aðferð og notuð er við aurburðarmælingar á OS, en með Stokes-lögþáli má reikna hve langan tíma þarf til að fella út mismunandi kornastærðir (Haukur Tómasson & Svanur Pálsson 1968). Sýni sem tekið var í Jökulsá í Fljótsdal var látið setjast til þar til áætlað var að korn stærri en 5μ (0,005 mm) hefðu fallið út, og síðan mælt í ljósgleypnimæli, og eru niðurstöður sýndar á mynd 8. Dvínunin (E) var langmest við stuttu bylgjulengdirnar; við blátt (430 nm) 0,700, en við rauðt (630 nm) 0,470, eða aðeins um 67% af dvínun bláa litarins. Græni



VOD-UR-900 HA
81.06.0957 IS

MYND 8

Mæling á dvínun (extinction) ljóss af bylgjulengdum frá 400-800 nm í meðhöndluðu sýni úr Jökulsá í Fljótsdal. Kornastærðir < 0,005 mm.

liturinn (530 nm) gaf 0,560 eða 80% dvínun miðað við blátt.

Engin tilraun hefur verið gerð til að meta hlutfall dreifingar og ísogs í dvínun ljóssins í vötnum, en líklegt má telja að í Leginum sé ísog yfirgnæfandi. Niðurstöðurnar úr Þórisvatni, Hvítárvatni og Langasjó gefa hinsvegar til kynna að eitthvað annað sé farið að hafa áhrif.

Sem fyrr segir hefur lifandi plöntusvif einnig veruleg áhrif á litrófið í gegnumfallandi ljósi. Þörungar taka yfirleitt til sín mest af rauðu ljósi og einnig nokkuð af bláu, og þar sem þeir valda verulegu ísogi kemur það fram í dvínun bláa og einkum þó rauða ljóssins.

Vel má vera að mismuninn milli hlutfallslegrar dvínunar rauða og græna ljóssins í vesturhluta Þórisvatns, annarsvegar í júlí og hinsvegar í ágúst (myndir 3 og 4), megi rekja til mismunandi þörungamagns (tafla 2). Saman er að segja um dvínun rauða ljóssins í Langasjó, en þar var plöntusvifið mjög virkt á athugunartímanum (mynd 6 og tafla 2).

Ljósmælingin í Þrístiklu gefur nokkuð dæmigerða mynd af litrófinu í tæru næringarsnauðu fjallavatni.

TAFLA 2

Magn og framleiðni plöntusvifs í nokkrum vötnum, þá daga sem ljósmælingar voru framkvæmdar (myndir 1-5). Framleiðni á við framleiðni í besta dýpi og í aftasta dálki eru gefin til kynna hlutfallsleg afköst þörunganna (specific production).

Vötn	Dags.	Þörungar mg l ⁻¹	Framleiðni mg C m ⁻³ d ¹	<u>mg C</u> mg þörungar
Lögurinn	27.08.75	0,13	8	0,06
Þórisvatn	07.07.76	0,09	17	0,19
	28.08.76	0,6	85	0,14
Hvítárvatn	11.07.75	2,9	120	0,18
Langisjór	31.08.76	0,17	108	0,6
Þrístikla	23.06.75	0,09	5,7	0,06

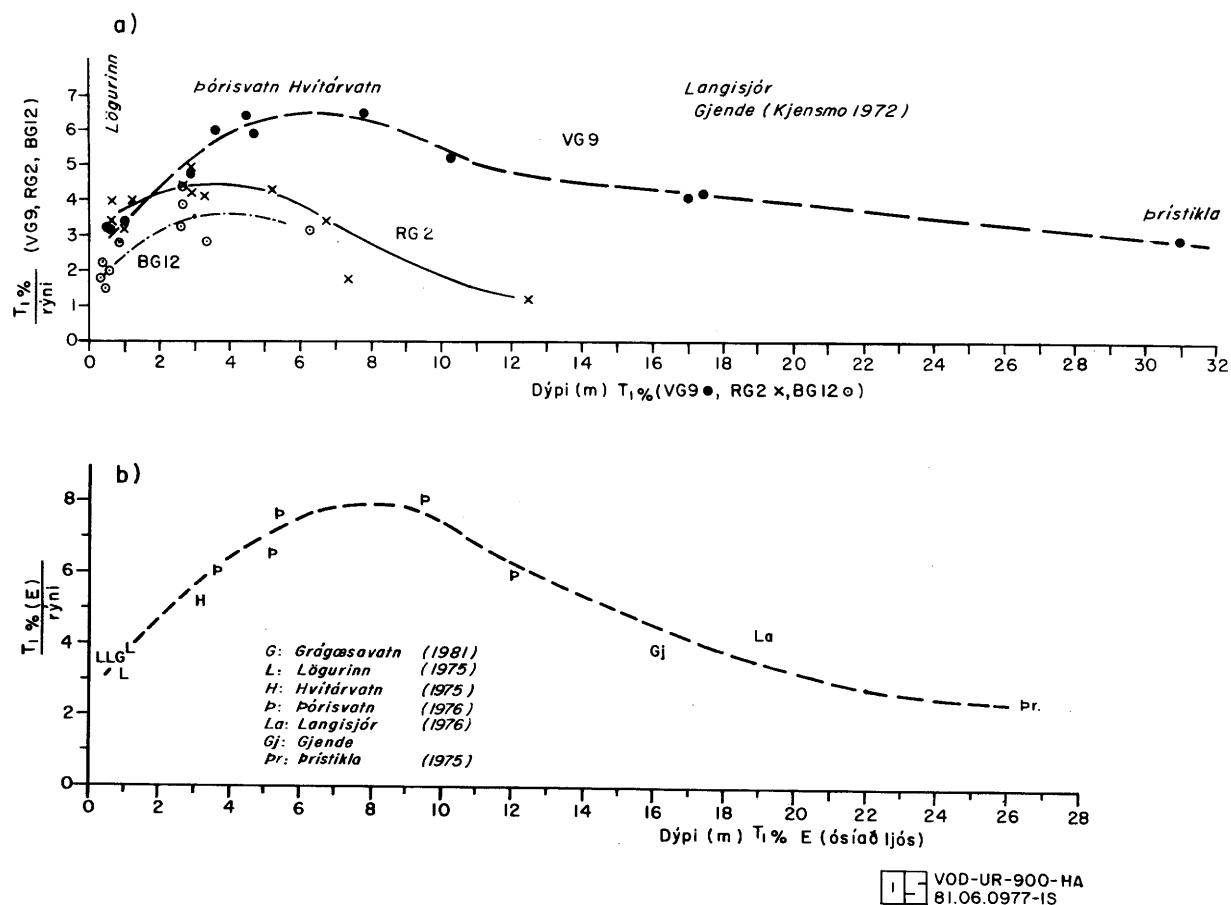
Mismuninn milli jökulskotnu vatnanna virðist því mega heimfæra upp á samspil minnkandi svifaurs og vaxandi þörungagróðurs í svifi.

Það er enn fremur langlíklegast að almennt gildi, að því meiri svifaur þeim mun minna plöntusvif, vegna þess að ljósmagn verði takmarkandi.

3.5 Rýni sem gegnsæismælikvarði í jökulskotnum vötnum

Rýnisskífan er handhægt og ódýrt tæki og augljós kostur að geta notað hana til að áætla þykkt ljóstillífunarlagsins (trophogenic layer), þ.e. dýpið niður að mörkum $T_{1\%}$, sbr. kafla 2.3. Í venjulegum vötnum er ágætt línulegt samband milli rýnis og $T_{1\%}$, en í jökulskotnum vötnum er því ekki

til að dreifa. Samband rýnis og 1% gegnsæis ($T_{1\%}$) er breytilegt, og u.p.b. tvöfalt hærra í Pórisvatni og Hvítárvatni (6) en í Leginum (3), ef miðað er við grænt ljós (mynd 9). Gegnsæið fyrir ósíð ljós er lítið eitt hærra en fyrir grænt ljós í jökulskotnu vötnunum en lægra í tæra vatninu (myndir 2-7 og mynd 9). Hæstu gildin fyrir þetta hlutfall koma fram við um 10 mg/l svifaur. Af þessu má draga þá ályktun að sé svifaурinn hæfilega lítill verði nokkurskonar millibilsástand, þar sem ljósdreifing af völdum auragnanna yfirgnæfir bæði ísog ljóssins í auragnir og þörunga.



MYND 9

Samband gegnsæis mælt með rýnisskífu og beint með "selenfótosellu" ($T_{1\%}$).
 a) miðað við síð ljós, þ.e. bláar, grænar og rauðar bylgjulengdir
 b) miðað við ósíð ljós.

Kjensmo (1972) vakti athygli á því að gegnsæi væri meira í Gjende en við var að búast miðað við rýnið, og Blaker (sjá Blaker & Jacobsen 1979) komst að svipuðum niðurstöðum hvað varðaði Juvatn (bæði vötnin í Jötunheimum, Noregi).

Bylgjulengdir hins sýnilega ljóss, sem mældar voru eru á bilinu 0,4 - 0,7 μ , og eru væntanlega styttri en sem nemur þvermáli flestra auragnanna. Samkvæmt Rayleigh-reglunni um samband kornastærðar og bylgjulengdar við ljósdreifingu ($Sc = k \frac{1}{\lambda^4}$), verður því ljósdreifingin mest hjá ljósi með stystu bylgjulengdirnar, þ.e. bláu ljósi, en þar er ísogið einnig mest. Af sömu orsökum er ljósdreifingin minnst hjá rauðu ljósi, þar sem ísogið er líka minnst (mynd 6). Einnig má reikna með að minnstu aurkornin geti verið minni en bylgjulengd rauða ljóssins og dreifi því ekki rauða ljósinu. Græna ljósið lendir þarna á milli og þegar allt er tekið saman kemur það best út, og þessar niðurstöður eru í samræmi við það sem vænta má út frá ásýnd jökulskotinna vatna t.d. Þórisvatns. Best sést þetta bó í lekavatninu frá Sigöldulóninu í Sigöldugljúfri.

Á svipuðum nótum má halda áfram að skýra niðurstöður beinna mælinga. Í mælingum í Leginum frá júní 1975 reyndist svifaur vera jafnmikill við Atlavík og við Egilsstaði. Gegnsæið reyndist þó vera 1,26 sinnum meira við Atlavík en við Egilsstaði, þannig að ljósdreifingin hefur verið heldur meiri við Atlavík, þar sem hlutfall grófra korna var hærra (tafla 1). Því meira sem er af gráfum kornum, þeim mun meira af ljósinu nær bylgjulengdum undir þvermáli kornanna og dreifist (byggt að mestu á Kullenberg 1974).

Það er hinsvegar erfitt að fara út í smáatriði við túlkun þessarra gagna. Það má t.d. benda á, að miðað við ákveðna þyngd svifaurs, þarf fleiri smá korn en stór til að ná viktinni, og vafalaust skiptir fjöldi korna verulegu máli í þessu sambandi. Ennfremur hefur gerð kornanna áhrif á eiginleika þeirra gagnvart ljósdreifingu. Ljósdreifingu má rekja til þrennskonar fyrirbæra:

"Litrófunar" (diffraction)

Ljósbrota (refraction)

Speglunar (reflection)

"Litrófun" er fyrst og fremst háð stærð og lögun kornanna, en ljósbrota og speglun gerð þeirra (Timofeeva 1974). Ennfremur skiptir innfallshorn

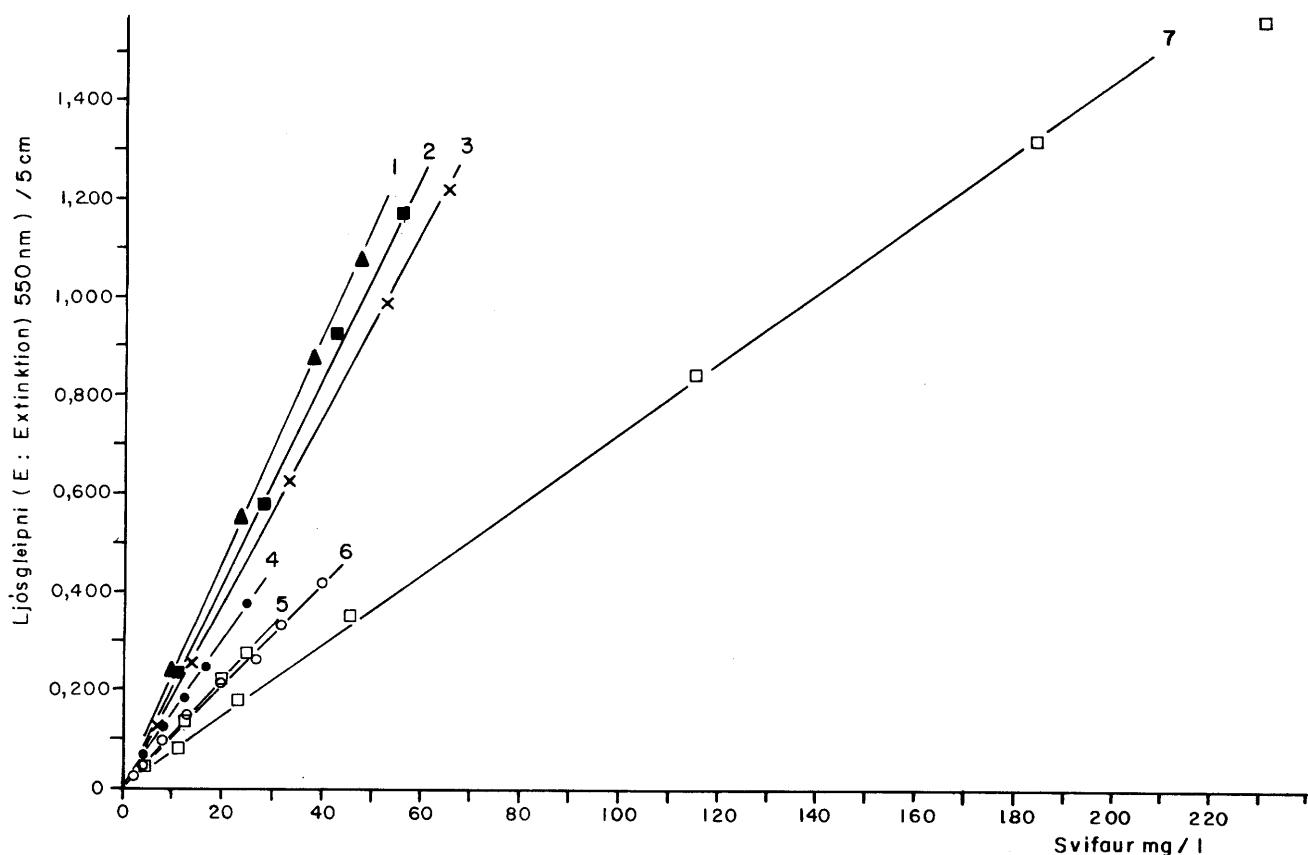
ljóssins verulegu máli, en ég hef reynt að forðast að slikt hafi áhrif á mælingarnar með því að mæla alltaf um hádegisbil.

3.6 Mælingar á rannsóknastofu

Sem fyrr segir (3.2) virtist kornastærðardreifing svifaurs furðulík í öllum vötnunum, þrátt fyrir innrennslisvatn að ólíkum toga. Hafa verður þó þann fyrirvara hve ónákvæm setvogarmælingin er við svo lítinn svifaur, eins og t.d. í Þórisvatni. Ef reyna á að áætla svo lítið svifaursmagn, verður að leita nýrra aðferða. Nærtækt er að nota samband milli ljósgleypni og gruggs, þ.e. svifaurs. Þeirri aðferð hefur m.a. verið beitt við aurburðarrannsóknir í Þjórsá (Sigurður R. Guðmundsson 1972), en sá böggull fylgir skammrifi að kornastærðardreifingin hefur mikil áhrif á samband ljósgleypni og svifaursmagns, og því verður að reyna að líkja eftir því sem gerist í jökulskotnum stöðuvötnum. Þar sest grófasti aurburðurinn til og þar blandast jökulvatnið öðru innrennslisvatni sem veldur þynningu. Til þess að líkja eftir jökulskotnu stöðuvatni þarf því að láta gruggið setjast til í sýnum úr jökulám og þynna þau. Niðurstöður ljósgleypnimælinga í slíkum tilraunum eru sýndar á mynd 10, og þar má m.a. sjá hve mjög ljósgleypnin breytist við breytt kornastærðardreifingu (linurit 7 borið saman við 1, 2 og 3). Ennfremur virðist ljóst að ekki má muna miklu á kornastærðardreifingu í jökulskotnu stöðuvatni og í eftirlíkingunni, til að eftirlíkingin sé ónothæf (sbr. linurit 1, 2 og 3). Ljósgleypnin er mest (gegnsæið minnst) í sýnum með smæstum kornum eða kornastærðardreifingu sambærilega við það sem ríkir í jökulskotnum vötnum.

Markmið rannsóknanna er ekki að finna magn svifaurs í jökulskotnum stöðuvötnum sem slikt, heldur áhrif þess á gegnsæið og þar með á framleiðniforsendur plöntusvifs, þ.e. hversu lífvænleg vötnin eru, og hversu lífvænlegt verður í uppistöðu- eða miðlunarlonum fyrirhugaðra virkjana.

Þó nokkuð hefur verið gert af beinum ljósmælingum í stöðuvötnum og þær mælingar bornar saman við styrk svifaurs (m.a. Hákon Aðalsteinsson 1976 a.). Til þess að finna sambandið milli mælinga á rannsóknastofu og þess sem er úti í náttúrunni hefur mælt gegnsæi í Þórisvatni og Leginum verið borið saman við útreiknað gegnsæi miðað við uppsogun í ljósgleypnimæli. Niðurstöður þessa samanburðar eru sýndar á mynd 11. Þar er annarsvegar



KORNADREIFING

>0,005 <0,005 mm

1 ▲ Blöndu (28.07.77)	(3 97)	látið setjast í 21 t
2 ■ " " " "	(5 95)	" " 14 t
3 × " " " "	(8 92)	" " 4 t
4 ● Kaldakvísl (07.07.77)	(2-23 77-98)	látið setjast í 14 t
5 □ Blöndu (07.09.77)	(34 66)	
6 ○ Kaldakvísl (26.08.76)	(26 74)	
7 □ Blöndu (28.07.77)	(45 55)	

MYND 10

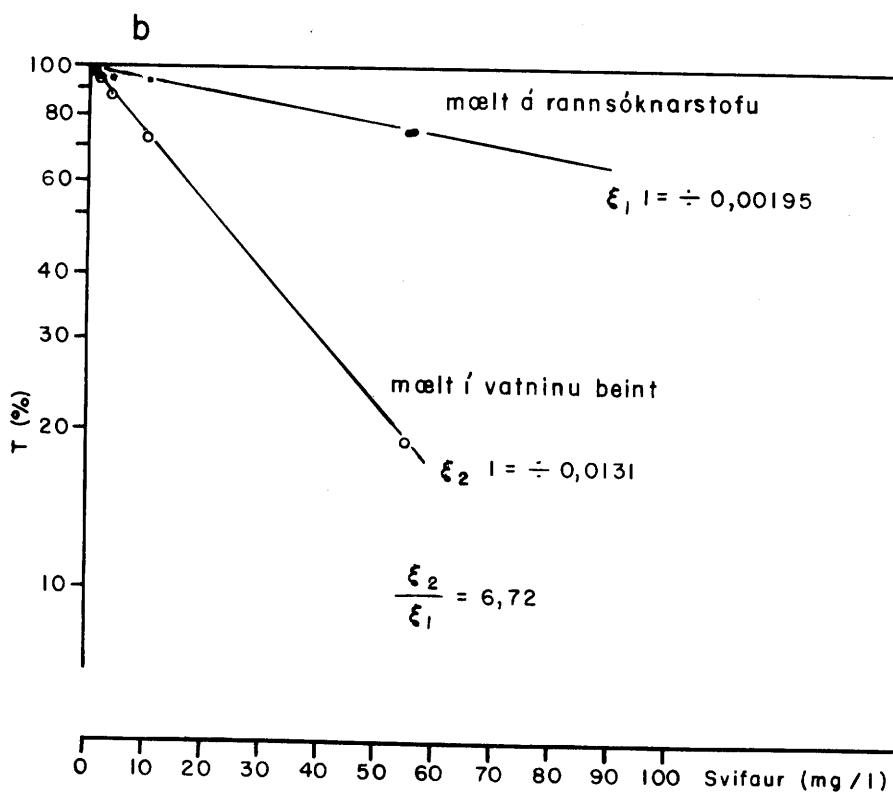
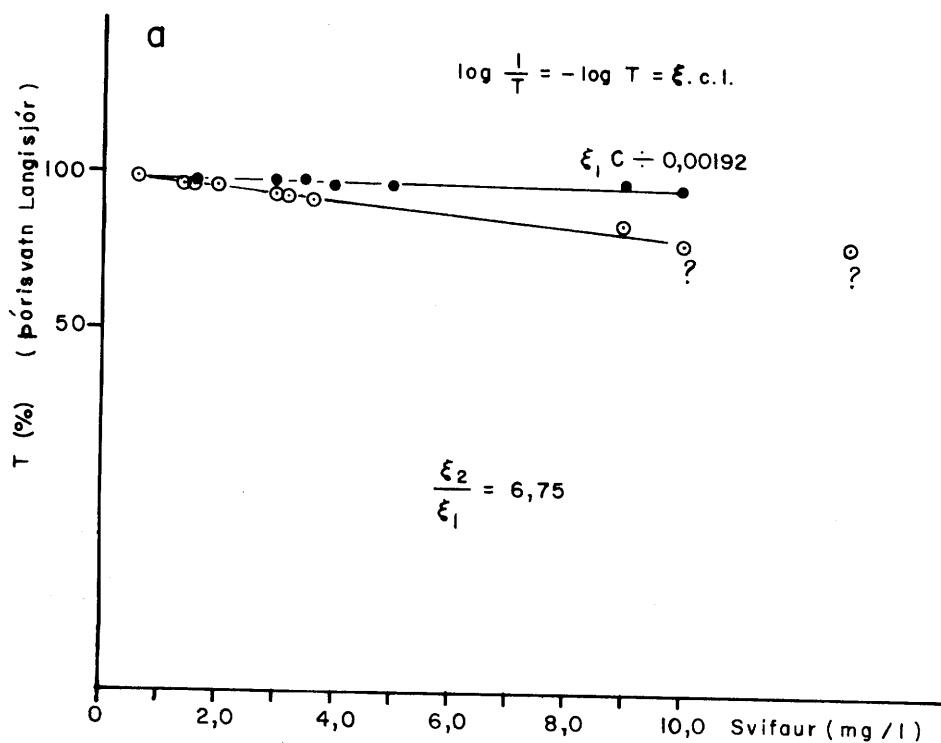
VOD-UR-900 HA
81.08.0955 IS

Dvínun ljóss (E) í mismunandi útbrynningu og við mismunandi kornastærðar-dreifingu í sýnum úr Blöndu og Koldukvísl. Ljósgleypnimæling, 550 nm og 5 cm.

reiknað út frá leiðréttum magntölum úr Þórisvatni og hinsvegar út frá þeim að viðbættum mæligildum úr Leginum.

Hin góða samsvörum, hvorn skalan sem miðað er við, bendir til að nota megi þessa umreikningsaðferð, a.m.k. á svifaursmagn að 100 mg/l.

Nálgast má gegnsæi við náttúrulegar aðstæður með því að umreikna gleypni-stuðul þann sem fæst á rannsóknarstofu með 6,7 eins og eftirfarandi dæmi sýnir:



VOD-UR-900 HA
81.08.0954 IS

MYND 11

Niðurstöður mælinga á gegnsæi þar sem mælt var beint með ljósmæli (selen-fótosellu) og útreiknað úr mælingu á ísogun á ljósgleypnimæli.

1. Fundinn er dvínunarstuðull (E) miðað við svifaur út frá hallatölu línurits, t.d. nr. 4 (Kaldakvísl, sýnið hafði sest til í 14 tíma, mynd 10).

$$0,375 - 0,070 = E \cdot 1(25-4) \text{mg/l} \times$$

$$E \cdot 1 = 0,01452; \quad 1 = 5 \text{ cm}$$

2. Gleypnistuðull (E) umreiknaður eins og sýnt er á mynd 11.

$$E \cdot 1 = \frac{0,01452}{6,7} = 0,002167$$

3. Reiknað er út gegnsæið á 1 m dýpi við t.d. 20 mg/l svifaur
- $\log T = E \cdot 1 \cdot c$; c = magn svifaurs

$$- \log T'_{1m, 20 \text{ mg/l}} = 0,8668$$

$$- T'_{1m, 20 \text{ mg/l}} = 0,14$$

Sýnið úr Koldukvísl var látið setjast til í 14 tíma og þynnt til að ná blöndu sem líktist Þórisvatni. Þann 7. júlí 1976 mældist svifaurinn 12,9 mg/l (leiðrétt til 9,2 mg/l, tafla 1 og mynd 1) í Þórisvatni, vesturhluta. Gegnsæið í Koldukvíslarsýninu (eftirlíkingunni) við 9,2 mg/l svifaur reiknast 40% af yfirborðsljósi á 1m. Bein mæling í Þórisvatni í júlí 1976 gaf 28% gegnsæi á 1 m dýpi (mynd 3), og munar þannig um 40% á Þórisvatni og eftirlíkingunni. Hinsvegar gefa 12,9 mg/l 28% á 1 m dýpi, sem er sama niðurstaða og í beinni mælingu.

Sé 12,9 mg/l hið rétta gildi og yrði tekið mið af því við að finna reiknstuðulinn (sbr. mynd 10 a), kæmi út gildið 7,4 mg/l, sem myndi hafa gefið 31% gegnsæi á 1 m dýpi en það er 10% frávik. Miðað við allar skekkjungildurnar, sbr. kafla 3.2, hefur verið valið að taka meira mark á gildum úr Leginum a.m.k. fyrst um sinn, og nota 6,7 í áframhaldandi útreikningum.

Línurit nr. 3 á mynd 10 sýnir eftirlíkingu af Blöndulóni, sem fengin er með því að láta sýni úr Blöndu setjast til í 4 klst. og þynna það síðan. Samsvarandi reikningar og lýst var hér að framan fyrir Koldukvísl, gefa gegnsæið 7-8% á 1 m dýpi í lóni með 20 mg/l af svifaur og kornarstærðardreifingu eins og í Blöndu 3 (mynd 10). $T_{1\%}$ fengist samkvæmt þessu í um 2 m dýpi í Blöndulóni með 20 mg/l svifaur.

4 NIÐURSTÖÐUR OG ÁLYKTANIR

Niðurstaða af rannsóknum á notagildi rýnis sem mælikvarða á gegnsæi í jökulskotnum stöðuvötnum er sú að ekki er hægt að nota einhlítan stuðul til að umbreyta rýni í gegnsæi, eins og almennt er hægt þegar venjuleg stöðuvötn eiga í hlut. Í Leginum mátti nálgast gegnsæið með því að margfalda rýnið með 3,5 (við rýni 0,15 - 0,30 m) og í Þórisvatni (við rýni 0,5 - 1,0 m) með því að margfalda með 6-8. Í Langasjó og Austurbotni Þórisvatns við rýni 1,5 - 4 m var $T_{1\%}$ 4-6 sinnum rýnið.

Áhersla er lögð á að miklu skiptir hver kornastærðardreifingin verður í jökulskotnum miðlunararlónum ekki síður en heildarmagnið. Hugsanlegt framhald á rannsóknum af þessu tagi ætti að beinast að því að reikna út hve mikið af aurframburði setjist til í væntanlegum miðlunar- og uppistöðulónum í jökulám. Þá lægi jafnframt fyrir hve mikill svifaур yrði eftir í vatninu. Ennfremur þyrfti að rannsaka betur og fá staðfestingu á þeirri hugmynd eða hafna henni, að kornastærðardreifing í jökulskotnum vötnum sé nokkuð svipuð og óháð innrennslisvatninu ef viðstaða vatns í þeim er nægilega löng. Að því búnu eða samtímis mætti kanna betur samhengið milli gegnsæis sem mælt er beint í vötnum og mælinga á rannsóknastofu, ásamt frekari tilraunum með eftirlíkingar. Sennilegt er þó að vegna áhrifa kornastærðardreifingarinnar á gegnsæið, þá muni sú aðferð reynast mjög flókin og erfið í notkun. Einfaldast og árangursríkast er líklega að bæta nákvæmni mælinga þegar magn svifaurs er lítið, og draga upp samband gegnsæis og svifaurs, svipað og gert var fyrir mælingar í Leginum (Hákon Aðalsteinsson 1976 a, mynd 5).

Þær rannsóknir sem þegar hafa verið gerðar á plöntusvifi í jökulskotnum vötnum benda til að svifaursmagn í líkingu við það sem er í Þórisvatni, um 10 mg/l, sé ekki sérlega afdrifaríkt fyrir plöntusvifið. En þegar við 30-40 mg/l eins og var í Krókslóni í ágúst 1979 er plöntusvifið takmarkað af of litlu gegnsæi (Hákon Aðalsteinsson 1981) og enn frekar í Leginum við 50-100 mg/l. Þetta bendir til að afgerandi svifaursmagn geti verið á bilinu 10-30 mg/l.

HEIMILDASKRÁ

Blaker, I.A. & O.J. Jacobsen 1979: Zooplankton distribution and abundance in seven lakes from Jötunheimen, a Norwegian high mountain area. Arch. Hydrobiol., 85:277-290.

Haukur Tómasson: The sediment load of Icelandic rivers. Nordic Hydrological conference 1976, V, 1-16.

Haukur Tómasson & Svanur Pálsson 1968: Skýrsla um aurburðarrannsóknir 1965-1966. Raforkumálaskrifstofan, 73 s.

Haukur Tómasson, Svanur Pálsson, Sigurjón Rist & Guðmundur Vigfússon 1973: Skýrsla um aurburðarrannsóknir fram til 1960. Orkustofnun, OS-ROD, 77 s.

Hákon Aðalsteinsson 1976 a: Lögurinn, svifaur gegnsæi og lífriki. Orkustofnun, OS-ROD-7609, 47 s.

Hákon Aðalsteinsson 1976 b: Pórísvatn, áhrif miðlunar og Köldukvíslarveitu á lífsskilyrði svifs. Orkustofnun, OS-ROD 7643,

Hákon Aðalsteinsson 1981. Afdrif svifsins í Pórísvatni eftir miðlun og veitu úr Köldukvísl. Orkustofnun, 0581025/VOD11, 53 s.

Holmes, R.W. 1970: The secchi disk in turbid coastal waters. Limnol. Oceanogr., 15:688-694.

Kjensmo, J. 1972: Gjende: A glacier-fed mountain lake - Verh Internat. Verein. Limnol., 18: 343-348.

Kullenberg, G. 1974: Observed and computed scattering functions. In: N.G. Jerlov (ed.). Optical aspects of oceanography. Academic Press, London, New York, s. 25-29.

Sherwood, B.I. & G. Gilbert 1974: On the universality of the Poole and Atkins secchi disk-light extinction equation. J. Appl. Ecol., 11: 399-401.

Sigurður R. Guðmundsson 1972: Aurburðarmælingar. Skýrsla til Lands-virkjunar.

Timofeeva, V.A. 1974: Optics of turbid waters (Results of laboratory studies); In: N.G. Jerlov (ed.) Optical aspects of oceanography. Academic Press, London, New York, 177-219.