



ORKUSTOFNUN
Vatnsorkudeild

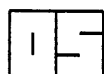
FRAMBURÐUR ÞJÓRSÁR VIÐ ÞJÓRSÁRVER

Botnskrið og svifaur

Haukur Tómasson
Svanur Pálsson
Guðmundur H. Vigfússon
Þórólfur H. Hafstað

OS-96010/VOD-03 B

Febrúar 1996



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 740840

FRAMBURÐUR ÞJÓRSÁR VIÐ ÞJÓRSÁRVER
Botnskrið og svifaur

Haukur Tómasson
Svanur Pálsson
Guðmundur H. Vigfússon
Þórólfur H. Hafstað

OS-96010/VOD-03 B

Febrúar 1996

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	3
2. MÆLINGAR Á BOTNSKRÍÐI OG BOTNEFNI	4
3. SVIFAURSMÆLINGAR	11
4. SVIFAUR OG BOTNSKRÍÐ Í MÆLISNIÐUM	17
5. BOTNSKRÍÐ Í ÞVERSNIÐUM	18
6. NIÐURSTÖÐUR	24
VIÐAUKI: Langæisreikningar fínmós (0,02-0,06 mm) og grófmós (0,06-0,2 mm)	25

MYNDA SKRÁ

1. Yfirlitskort, sem sýnir Þjórsárver og Kvíslaveitu	3
2. Sýnishorn af kornastærðarferlum botnefnis, botnskriðs og svifaus	11
3. Samband rennslis og botnskriðs, gögn frá vatnasviði Þjórsár	17
4. Samband rennslis og botnskriðs og botnskriðs + svifaus >0,06 mm	18
5. Þjórsá við Sóleyjarhöfða. Þversnið með mæli- og sýnatökustöðum	19
6. Þjórsá ofan Hreysiskvíslar. Þversnið með mæli- og sýnatökustöðum	20
7. Hlutfallið: sandur í svifaur samkvæmt svifauslykli / mælt botnskrið	21
8. Samanburður á meðalkornastærðum botnefnis og botnskriðs við Sóleyjarhöfða	22
9. Þjórsá við Sóleyjarhöfða. Dreifing botnefnis Δ og botnskriðs \circ	22
10. Samband rennslis og malarburðar í Þjórsá við Sóleyjarhöfða	24

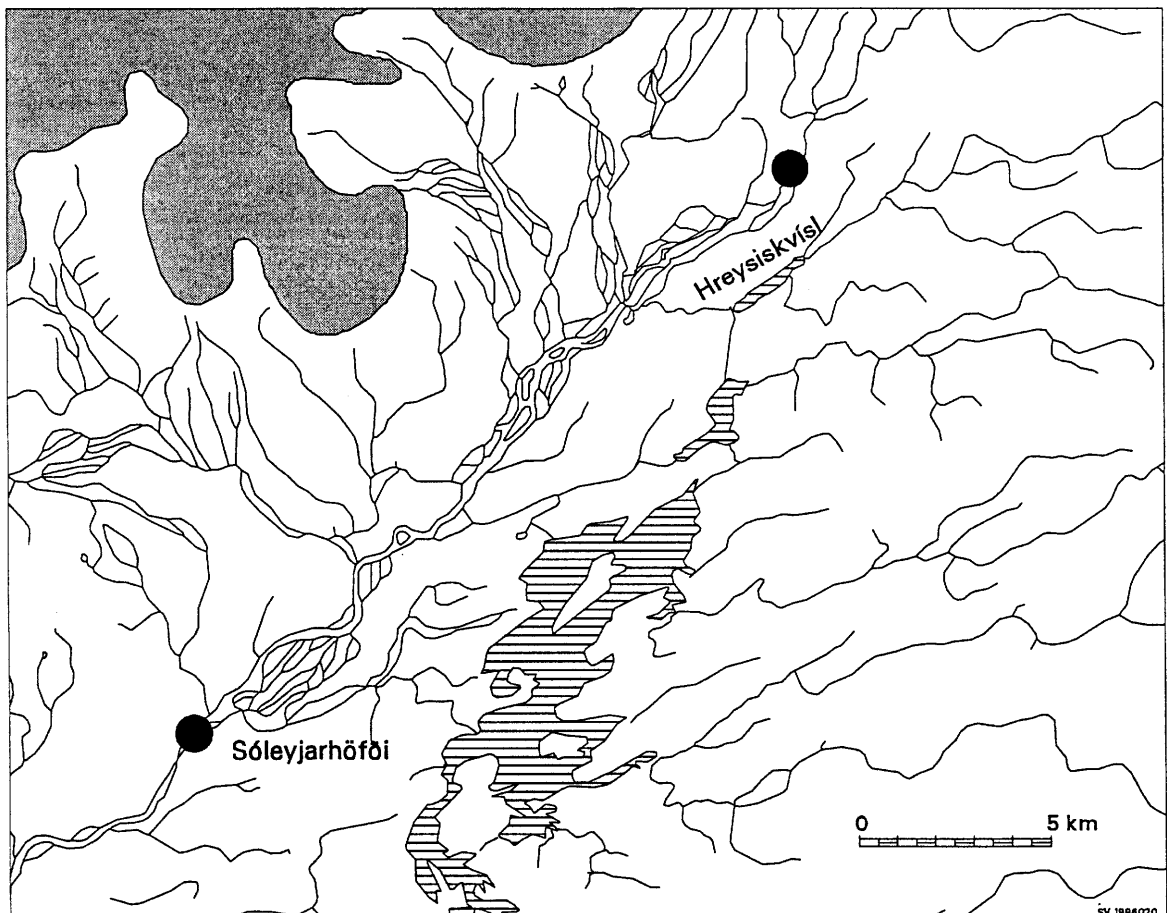
TÖFLUSKRÁ

1. Sýnataka og rennslis	4
2. Mæling í Þjórsá ofan Hreysiskvíslar 1984.07.26	5
3. Mæling í Þjórsá ofan Hreysiskvíslar 1984.09.25	6
4. Mæling í Þjórsá við Sóleyjarhöfða 1982.09.08	7
5. Mæling í Þjórsá við Sóleyjarhöfða 1983.07.21	8
6. Mæling í Þjórsá við Sóleyjarhöfða 1984.08.01	9
7. Mæling í Þjórsá við Sóleyjarhöfða 1984.09.24	10
8. Svifaur og efnastyrkur í Þjórsá við Sóleyjarhöfða	12
9. Svifaur og efnastyrkur í Þjórsá ofan Hreysiskvíslar	12
10. Þjórsá við Sóleyjarhöfða. Langæisreikningar svifaus 1961-88, byggt á sýnum teknum 1966-84	13
11. Þjórsá við Sóleyjarhöfða. Langæisreikningar svifaus 1961-88, byggt á sýnum teknum 1984	14
12. Þjórsá ofan Hreysiskvíslar. Langæisreikningar svifaus 1961-88, byggt á sýnum teknum 1984	15
13. Úrvinnsla á botnskriði og samanburður við sand í svifaur	21
14. Þjórsá við Sóleyjarhöfða. Langæisreikningar botnskriðs af malarstærð	23

1. INNGANGUR

Skýrsla þessi fjallar um aurburður Þjórsár við Þjórsárver, bæði svifaur og botnskrið. Sumarið 1984 var aurburður Þjórsár ofanverðrar kannaður á tveimur stöðum, annars vegar við Sóleyjarhöfðavað, en þar höfðu sýni verið tekin áður, og hins vegar á áformuðu stíflustæði í ánni innan Hreysiskvíslar, ríflega 20 km ofar. Þar efra er áin einungis um fimmtungur þess, sem hún er við Sóleyjarhöfða, enda sameinast hér allar helstu upptakakvíslar Þjórsár frá Hofsjökli. Milli mælistaðanna flæmist áin um víðlent eyrasvæði. Skammt ofan stíflustæðisins sameinast ein Þjórsarkvísla aðalánni, en þar fyrir ofan er hún að mestu í sémilega vel afmörkuðum farvegi.

Þetta sumar voru einnig tekin sýni af botnskriði í Köldukvísl og Tungná. Var þetta hluti samnings við Landsvirkjun um rannsóknir á Kvíslaveitu sumarið 1984. Á árunum tveimur næst á undan fór fram á vegum Orkustofnunar nokkuð víðtæk rannsókn á botnskriði víða um land. Þar á meðal var tvisvar mælt botnskrið við Sóleyjarhöfða. Öll sýni, sem hér koma við sögu, tóku Georg Guðni Hauksson og Gunnar Jónsson. Ýmsir starfsmenn Vatnsorkudeildar sigtuðu botnskriðs- og botnefnissýnin, en svifaurinn mældi Svanur Pálsson. Þessar mælingar eru allar notaðar til ályktunar um botnskriðið, en í listanum í töflu 1 hér á eftir eru fyrst og fremst skráðar mælingarnar, sem beint tengjast Kvíslaveitu og gerðar voru 1984.



MYND 1. Yfirlitskort, sem sýnir Þjórsárver og Kvíslaveitu; sýnatökustaðirnir eru auðkenndir.

Sumarið 1984 voru farnar tíu söfnunarferðir á tímabilinu 21. júlí til 3. október. Tekin voru sýni af svifaur í þeim öllum, en auk þess botnskriðssýni og botnsýni í tveimur þeirra. Rennsli árinna fór í höfuðdráttum minnkandi á mælingaskeiðinu og á stíflustæðinu mældist það mest 57 m³/s, en minnst 12 m³/s. Yfirlit um rennsli og sýnatöku er að finna í töflu 1.

TAFLA 1. Sýnataka og rennsli

Dagsetning	Svifaurssýni Tökunúmer	Botnskriðssýni		Botnsýni		Rennsli m ³ /s
		Númer	Fjöldi	Númer	Fjöldi	
Þjórsá við Sóleyjarhöfða						
84.07.21	6727					215
84.07.26	6736					251
84.08.01	6740	6741	7	6742	7	181
84.08.08	6757					231
84.08.15	6777					181
84.08.24	6816					166
84.08.29	6821					173
84.09.12	6840					112
84.09.24	6847	6845	6	6848	4	85
84.10.02	6870					75
Þjórsá ofan Hreysiskvíslar						
84.07.21	6726					47
84.07.26	6735	6734	6			57
84.08.01	6743					55
84.08.09	6758					42
84.08.15	6778					33
84.08.24	6817					31
84.08.30	6822					32
84.09.12	6839					16
84.09.25	6848	6849	5			14
84.10.03	6871					12

Um það leyti, sem skýrslan var að verða tilbúin, óskaði Landsvirkjun eftir því, að skil milli kornastærðarflokka yrðu sett við kornastærðina 0,06 mm. Til þess að koma til móts við það var kornastærðarflokknum mó, sem nær yfir kornastærðabilið 0,02-0,2 mm, skipt við kornastærðina 0,06 mm og reiknaður framburður hvors hluta um sig. Þeir útreikningar eru birtir í viðauka.

2. MÆLINGAR Á BOTNSKRÍÐI OG BOTNEFNI

Botnskriðsmælingarnar fóru þannig fram, að botnskriðssýnið var látið berast inn í botnskriðstaka, sem lá á botninum í nokkurn tíma, allt frá 2,5 mínútum upp í 17 mínútur. Þetta var gert í 5-8 stöðum í þversniði árinna. Á sömu stöðum var straumhraði mældur í 3 punktum í lóðréttu sniði árinna og tekið venjulegt svifaurssýni. Auk þess var tekið botnsýni með bullusýnataka, þar sem það var hægt. Botnsýni náðist ekki alls staðar og er ástæðan í flestum tilvikum sú, að botninn var of grófkornóttur til þess að efnið kæmist inn í sýnatakann.

Úrvinnsla fór þannig fram, að sýni af botnefni og botnskriði voru sigtuð og kornaferill ákvarðaður. Samtímis var heildarmagn botnskriðs vegið. Frekari úrvinnsla fólgst í að reikna botnskrið á sekúndu á hvern breiddarmetra. Niðurstöður þessara mælinga ásamt niðurstöðum svifaursmælinga, straumhraða og öðrum mældum stærðum eru í töflum 2-7 og eru þar teknar með mælingarnar frá Sóleyjarhöfða 1982 og 1983.

TAFLA 2. Mæling í Þjórsá ofan Hreysiskvíslar 1984.07.26

A. Botnefni

Dýptarsnið	A	B	C	D	E	F
Straumhraði V m/s	1,18	1,20	1,23	1,18	1,15	1,04
Dýpi D m	0,65	0,65	0,65	0,65	0,60	0,40
Breidd	17	10	12,5	15	15	27,5

B. Botnskrið

Dýptarsnið	A	B	C	D	E	F	Alls
Botnskriðssýni g	7,4	28,1	30,4	63	132	103,1	
Tími sek.	606	600	600	600	600	600	
Botnskrið g/s	0,01	0,05	0,05	0,1	0,22	0,17	
Botnskrið g/s/m	0,1	0,7	0,7	1,3	2,9	2,2	
Botnskrið alls g/s	1,7	7,0	8,8	19,5	43,5	60,5	141,0

Kornastærð botnskriðs mm	A %	B %	C %	D %	E %	F %	Meðal- tal
<0,06 (0,04)		2		2	5	4	2
0,06-0,2 (0,13)	21	16	23	32	35	46	29
0,2-0,6 (0,4)	66	67	72	58	28	49	57
0,6-2 (1,3)	13	15	5	8	17	1	10
2-6 (4)					11		2
6-20 (13)					4		1

C. Svifaur

Kornastærð svifaurs mm	%	Rennsli m ³ /s	57
<0,02 (0,013)	41	Svifaur mg/l	1236
0,02-0,06 (0,04)	32	Svifaur g/s	70452
0,06-0,2 (0,13)	23	Stærstu korn mm	1,3
0,2-0,6 (0,4)	4		

Þjórsá á stíflustæði ofan Hreysiskvíslar var fyrst rannsökuð 26. júlí 1984 og tekin sýni á 6 stöðum í þversniðinu. Botnsýni náðist hvergi, því að botninn var þakinn grjóti eða mjög grófri mól. Botninn var yfirleitt þannig um sumarið, en menn urðu þó stundum óþægilega varir við sandöldur, sem gengu niður ána og höfðu áhrif á færð á bílavaðinu, sem þarna var mikið notað um sumarið. Niðurstöðurnar eru sýndar í töflu 2.

Seinni sýnatakan á stíflustæði fór fram 25. september sama ár og voru tekin sýni á 5 stöðum í þversniði. Ekki fengust botnsýni heldur í þetta skipti, og var augljóslega grjótmotta þarna ennþá, nema eitt sýnið hitti á sandöldu. Megnið af botnskriðinu var að þessu sinni úr þessari sandöldu. Niðurstöðurnar eru sýndar í töflu 3.

Við Sóleyjarhöfða var fyrsta sýnatakan 8. september 1982. Voru þá tekin sýni á 8 stöðum í þversniðinu. Botnsýni fengust á öllum stöðum og var botnefnið mest sandur, en smávegis af fínsmöl, sjá töflu 4.

Sumarið eftir var aftur mælt 21. júlí og voru tekin sýni á 7 stöðum á þversniðinu. Botnsýni fengust á öllum stöðunum, og var botnefnið mest sandur, en einnig töluverð mól og í einu tilfalli aðallega grófmól. Niðurstöðurnar eru sýndar í töflu 5.

TAFLA 3. Mælingar í Þjórsá ofan Hreysiskvíslar 1984.09.25

A. Botnefni

Dýptarsnið	A	B	C	D	E
Straumhraði V m/s	0,66	0,64	0,53	0,56	0,92
Dýpi D m	0,40	0,30	0,25	0,25	0,35
Breidd	15,5	15	17,5	27,5	18,5

B. Botnskrið

Dýptarsnið	A	B	C	D	E	Alls
Botnskriðssýni g	1490,8	39,3	14,3	17,0	55,6	
Tími sek.	900	1320	900	1020	1020	
Botnskrið g/s	1,66	0,0298	0,0159	0,0167	0,0545	
Botnskrið g/s/m	21,8	0,392	0,209	0,220	0,717	
Botnskrið alls g/s	338	5,9	3,7	6,0	13,3	366,9

Kornastærð botnskriðs mm	A %	B %	C %	D %	E %	Meðal- tal
0,06-0,2 (0,13)		10	11	15	6	8
0,2-0,6 (0,4)	16	87	86	81	55	65
0,6-2 (1,3)	77	3	3	4	18	21
2-6 (4)	7				3	2
6-20 (13)					3	1
>20 (40)					15	3

C. Svifaur

Kornastærð svifaurs mm	%	Rennsli m ³ /s	Svifaur mg/l	Svifaur g/s	Stærstu korn mm
<0,02 (0,013)	81	14,0	28	392	0,6
0,02-0,06 (0,04)	5				
0,06-0,2 (0,13)	8				
0,2-0,6 (0,4)	6				

Sumarið 1984 voru tvisvar tekin sýni af botnskriði og botnefni við Sóleyjarhöfða. 1. ágúst voru tekin sýni á 7 stöðum í þversniðinu. Botnsýni náðust á öllum stöðunum og var botnefnið mest sandur og fínmöl nema í einu tilfalli, þar sem botnefnið var mjög gróft, sjá töflu 6.

Seinni sýnataka við Sóleyjarhöfða 1984 fór fram 24. september, og voru þá tekin sýni á 6 stöðum í þversniðinu. Botnsýni fengust á 4 stöðum, og var það einkum sandur og fínmöl, en nokkuð gróft í einu sniði, sjá töflu 7.

Straumhraði og dýpi er yfirleitt í meira lagi, þar sem botnskriðið er mikið. Botnefnið er grófara en botnskriðið, eins og sjá má á mynd 2, en þar eru sýndir ferlar yfir kornastærð botnefnis, botnskriðs og svifaurs við mismikið rennsli í Þjórsá við Sóleyjarhöfða.

TAFLA 4. Mæling í Þjórsá við Sóleyjarhöfða 1982.09.08

A. Botnefni

Dýptarsnið	A	B	C	D	E	F	G	H
Straumhraði V m/s	0,53	0,59	0,56	0,55	0,65	0,57	0,52	0,49
Dýpi D m	1,30	1,25	1,05	0,57	0,65	0,50	0,58	0,50
Breidd	25	10	10	10	10	10	10	35

Kornastærð botnefnis mm	A %	B %	C %	D %	E %	F %	G %	H %	Meðaltal
0,06-0,2 (0,13)		1	5		3	6	1	3	2
0,2-0,6 (0,4)	6	64	83	33	29	35	27	45	40
0,6-2 (1,3)	52	28	9	48	17	36	49	35	34
2-6 (4)	37	6	3	17	30	20	21	14	19
6-20 (13)	5	1		2	21	3	2	3	5

B. Botnskrið

Dýptarsnið	A	B	C	D	E	F	G	H	Alls
Botnskriðssýni g	0,0	1070,1	1632	2503	908	(1240)	1570	54,5	
Tími sek.	600	626	607	603	603	603	601	600	
Botnskrið g/s	0,0	1,709	2,689	4,15	1,506	(2,05)	2,61	0,0908	
Botnskrið g/s/m	0,0	22,5	35,4	54,6	19,8	(27,0)	34,4	1,19	
Botnskrið alls g/s	0,0	225	354	546	198	(270)	344	42	(1979)

Kornastærð botnskriðs mm	A %	B %	C %	D %	E %	F %	G %	H %	Meðaltal
0,06-0,2 (0,13)			1		5		2	5	2
0,2-0,6 (0,4)		64	86	30	48		54	75	60
0,6-2 (1,3)		34	13	58	31		36	16	31
2-6 (4)		2		11	13		7	4	6
6-20 (13)				1	3		1		1

C. Svifaur

Kornastærð svifaurs mm	%
<0,02 (0,013)	42
0,02-0,06 (0,04)	8
0,06-0,2 (0,13)	14
0,2-0,6 (0,4)	36

Rennsli m ³ /s	40
Svifaur mg/l	61
Svifaur g/s	2440
Stærstu korn mm	0,7
Vatnshiti °C	1,5
Seigja cp	1,76

Botnskriðssýni úr sniði F virðist hafa glatast, en gildin, sem hér eru gefin í svigum, eru ágiskuð. Bakrennsli virtist vera uppi við báða bakka.

TAFLA 5. Mæling í Þjórsá við Sóleyjarhöfða 1983.07.21

A. Botnefni

Dýptarsnið	A	B	C	D	E	F	G
Straumhraði V m/s	0,78	0,75	0,88	0,94	0,98	0,85	0,89
Dýpi D m	0,75	1,10	1,00	1,30	1,40	1,55	1,05
Breidd	30	20	20	20	20	20	38

Kornastærð botnefnis mm	A %	B %	C %	D %	E %	F %	G %	Meðal- tal
0,06-0,2 (0,13)			1		2		1	1
0,2-0,6 (0,4)	7	13	18	13	30	13	29	18
0,6-2 (1,3)	3	49	33	63	30	53	59	41
2-6 (4)	1	33	38	18	24	29	11	22
6-20 (13)	5	5	10	6	14	5		6
20-60 (40)	84							12

B. Botnskrið

Dýptarsnið	A	B	C	D	E	F	G	Alls
Botnskriðssýni g	116,1	948,5	485,7	575,1	1040,5	1810	462,4	
Tími sek.	600	300	180	180	210	180	210	
Botnskrið g/s	0,194	3,16	2,70	3,195	4,95	10,06	2,20	
Botnskrið g/s/m	2,55	41,6	35,5	42,0	65,2	132,3	29,0	
Botnskrið alls g/s	76,4	832	710	841	1304	2646	1101	7510,4

Kornastærð botnskriðs mm	A %	B %	C %	D %	E %	F %	G %	Meðal- tal
0,06-0,2 (0,13)	12	3	10	1	6	1	7	6
0,2-0,6 (0,4)	78	29	43	20	46	29	58	43
0,6-2 (1,3)	10	45	31	70	27	47	30	37
2-6 (4)		18	14	9	15	15	4	11
6-20 (13)		5	2		6	8	1	3

C. Svifaur

Kornastærð svifaurs mm	%
<0,02 (0,013)	16
0,02-0,06 (0,04)	4
0,06-0,2 (0,13)	11
0,2-0,6 (0,4)	30
0,6-2 (1,3)	26
>2 (4)	13

Rennsli m ³ /s	168
Svifaur mg/l	857
Svifaur g/s	143976
Stærstu korn mm	4,2
Vatnshiti °C	7,8
Seigja cp	1,386

TAFLA 6. Mæling í Þjórsá við Sóleyjarhöfða 1984.08.01

A. Botnefni

Dýptarsnið	A	B	C	D	E	F	G
Straumhraði V m/s	0,73	0,94	0,83	0,79	1,02	0,70	1,00
Dýpi D m	0,95	1,20	1,05	0,85	1,15	1,25	1,15
Breidd	29,5	25	25	25	25	22,5	41

Kornastærð botnefnis mm	A %	B %	C %	D %	E %	F %	G %	Meðal- tal
0,06-0,2 (0,13)			1					0
0,2-0,6 (0,4)	22	7	61	23	30	5	8	22
0,6-2 (1,3)	26	45	24	53	30	42	16	34
2-6 (4)	12	36	4	14	14	18	12	16
6-20 (13)	31	12	10	10	23	26	50	23
20-60 (40)	9				3	9	14	5

B. Botnskrið

Dýptarsnið	A	B	C	D	E	F	G	Alls
Botnskriðssýni g	2300	184,5	785,8	894,5	116,9	878,2	567	
Tími sek.	300	240	300	300	300	120	120	
Botnskrið g/s	7,67	0,769	2,62	2,98	0,39	7,32	4,73	
Botnskrið g/s/m	100,9	10,1	34,5	39,2	5,13	96,3	62,2	
Botnskrið alls g/s	2976	253	862	981	128	2167	2549	9916

Kornastærð botnskriðs mm	A %	B %	C %	D %	E %	F %	G %	Meðal- tal
0,06-0,2 (0,13)	1	1	2	2	26	2	3	5
0,2-0,6 (0,4)	42	11	33	38	73	12	43	36
0,6-2 (1,3)	44	30	40	40	1	19	36	30
2-6 (4)	13	34	11	14		36	10	17
6-20 (13)		22	14	6		30	8	11
>20 (40)		2				1		0

C. Svifaur

Kornastærð svifaurs mm	%
<0,02 (0,013)	42
0,02-0,06 (0,04)	13
0,06-0,2 (0,13)	11
0,2-0,6 (0,4)	15
0,6-2 (1,3)	16
>2 (4)	3

Rennsli m ³ /s	181
Svifaur mg/l	566
Svifaur g/s	102446
Stærstu korn mm	3,4
Vatnshiti °C	13
Seigja cp	1,202

TAFLA 7. Mæling í Þjórsá við Sóleyjarhöfða 1984.09.24

A. Botnefni

Dýptarsnið	A	B	C	D	E	F
Straumhraði V m/s	0,65	0,90	0,66	0,59	0,71	0,71
Dýpi D m	0,60	1,00	0,60	0,30	0,65	0,50
Breidd	35,5	25	25	25	25	42,5

Kornastærð botnefnis mm	A %	B %	C %	D %	E %	F %	Meðal- tal
0,06-0,2 (0,13)	2		1	3	1		2
0,2-0,6 (0,4)	31		10	11	25		19
0,6-2 (1,3)	32		14	10	48		26
2-6 (4)	20		35	18	23		24
6-20 (13)	15		38	55	3		28
20-60 (40)			2	3			1

B. Botnskrið

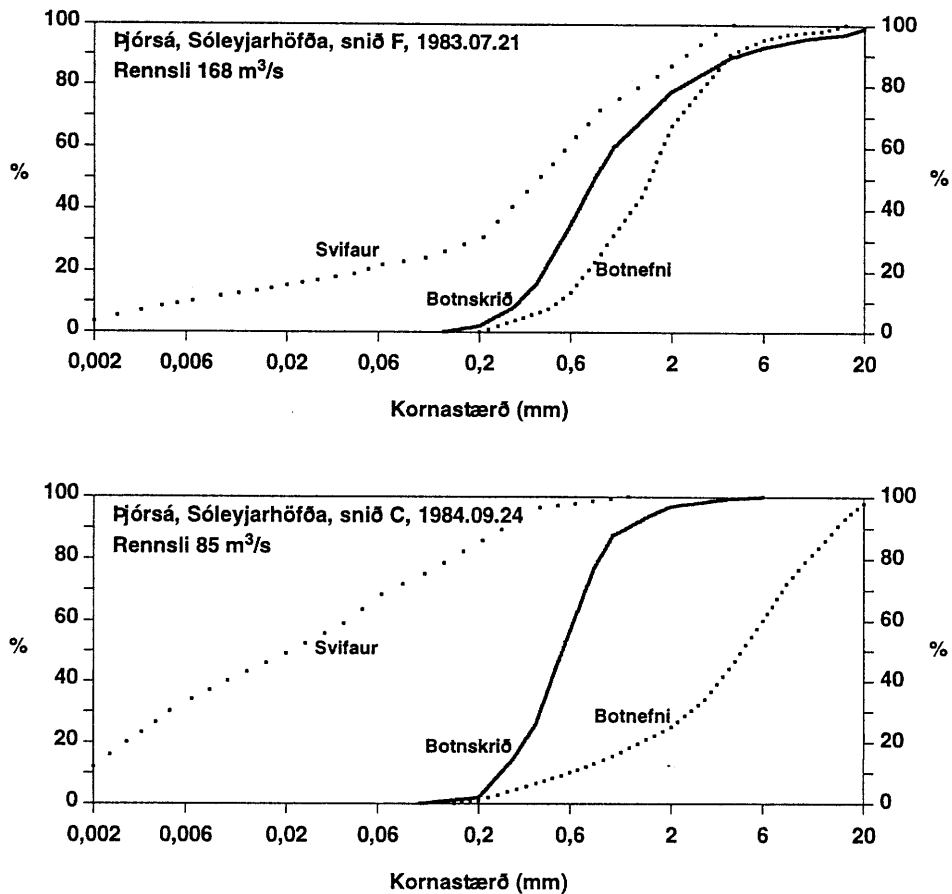
Dýptarsnið	A	B	C	D	E	F	Alls
Botnskriðssýni g	159,3	2579,9	819	79,7	1369,3	97,7	
Tími sek.	600	600	600	600	244	600	
Botnskrið g/s	0,266	4,30	1,365	0,133	5,61	0,163	
Botnskrið g/s/m	3,49	56,6	18,0	1,75	73,8	2,14	
Botnskrið alls g/s	124	1414	449	43,7	1846	91	3967,7

Kornastærð botnskriðs mm	A %	B %	C %	D %	E %	F %	Meðal- tal
0,06-0,2 (0,13)	9	1	2	14	1	34	10
0,2-0,6 (0,4)	67	34	54	42	30	63	48
0,6-2 (1,3)	20	51	41	23	51	3	32
2-6 (4)	4	11	3	15	15		8
6-20 (13)		3		6	3		2

C. Svifaur

Kornastærð svifaurs mm	%	Rennsli m ³ /s	85
<0,02 (0,013)	49	Svifaur mg/l	196
0,02-0,06 (0,04)	17	Svifaur g/s	16660
0,06-0,2 (0,13)	18	Stærstu korn mm	1,2
0,2-0,6 (0,4)	14	Vatnshiti °C	1,4
0,6-2 (1,3)	2	Seigja cp	1,728

Botnsýni náðust ekki í sniðum B og F.



MYND 2. Sýnishorn af kornastærðarferlum botnefnis, botnskríðs og svifaurs.

3. SVIFAURSMÆLINGAR

Svifaursýni voru tekin samtímis botnskríðsmælingunum. Þau voru tekin í handsýnataka í sömu dýptarsniðunum og botnskríðsmælingarnar fóru fram í. Auk þess voru tekin mörg fleiri svifaursýni, eins og kemur fram í töflu 1. Einnig höfðu sýni verið tekin 1966. Úr öllum þessum sýnum var unnið á hefðbundinn hátt, þ. e. öllum sýnum, sem tekin eru hverju sinni, er steypt saman í eitt og í því mældur aurstyrkur og kornastærð svifaursins. Niðurstöður allra svifaursmælinganna eru í töflum 8 og 9.

Útreikningar á framburði svifaurs fara fram á hefðbundinn hátt með því að reikna samband svifaurs og rennslis, svokallaðan svifaurslykil, en hann er notaður til að reikna framburð svifaurs út frá langæi rennslis. Svifaurslyklarir eru á forminu

$$q_s = k \times Q^n$$

þar sem q_s er framburður svifaurs í kg/s, k fasti, Q rennsli og n er veldisvísir, sem liggur oftast milli 1,5 og 3 fyrir trúverðuga líkingu.

TAFLA 8. Svifaur og efnastyrkur í Þjórsá við Sóleyjarhöfða

Tekið		Rennsli m ³ /s	Svifaur		Efnastyrkur mg/l	Kornastærð mg/l				Kornastærð %				Stærstu korn mm
Dagur	kl.		mg/l	kg/s		Leir	Méla	Mór	Sandur	Leir	Méla	Mór	Sandur	
66.07.12	11:00	140	506	70,84	43	132	202	137	35	26	40	27	7	1,0
66.07.22	14:00	300	503	150,90	54	70	171	136	126	14	34	27	25	2,2
66.07.25	15:30	114	386	44,00	44	85	151	127	23	22	39	33	6	0,8
66.08.08	12:00	150	193	28,95	52	21	87	58	27	11	45	30	14	1,0
66.08.17	17:00	148	402	59,50	49	80	129	109	84	20	32	27	21	1,2
66.08.17	17:10	148	807	119,44	40	81	169	436	121	10	21	54	15	1,5
66.08.20	10:30	121	347	41,99	36	69	142	94	42	20	41	27	12	1,1
66.08.20	10:40	121	464	56,14	32	88	153	162	60	19	33	35	13	1,3
66.10.13	13:30		124		60	16	37	58	12	13	30	47	10	0,8
66.10.13	13:40		156		57	20	59	62	14	13	38	40	9	0,4
82.09.08	16:00	40	61	2,44	49	7	18	13	23	12	30	21	37	0,7
83.07.21	17:45	168	857	143,98	42	34	103	120	600	4	12	14	70	4,2
84.07.21	16:00	215	1310	281,65	48	118	288	197	707	9	22	15	54	2,7
84.07.26	19:10	251	1525	382,77	49	76	305	290	854	5	20	19	56	3,5
84.08.01	16:30	181	566	102,45	46	74	164	136	192	13	29	24	34	3,4
84.08.08	22:00	231	951	219,68	37	48	247	276	380	5	26	29	40	1,6
84.08.15	11:10	181	1889	341,91	56	57	132	170	1530	3	7	9	81	3,3
84.08.24	13:00	166	733	121,68	54	44	103	81	506	6	14	11	69	2,5
84.08.29	20:10	173	437	75,60	57	61	96	131	149	14	22	30	34	0,8
84.09.12	11:00	112	276	30,91	46	30	63	36	146	11	23	13	53	2,0
84.09.24	20:00	85	196	16,66	55	25	69	73	29	13	35	37	15	1,2
84.10.02	19:30	75	68	5,10	54	17	29	9	14	25	42	13	20	0,6
Meðaltal	22 sýna		580		48	57	133	132	258	13	29	26	32	1,7
							190	390			42		58	

Sýnapörin frá 17. og 20. ágúst og 13. október 1966 voru tekin sitt úr hvorum ál. Sýnin með lægri aurstyrknum voru tekin 40, 75 og 105 m frá vinstri bakka, en hin 185 og 195 m frá sama bakka.

TAFLA 9. Svifaur og efnastyrkur í Þjórsá ofan Hreysiskvíslar

Tekið		Rennsli m ³ /s	Svifaur		Efnastyrkur mg/l	Kornastærð mg/l				Kornastærð %				Stærstu korn mm
Dagur	kl.		mg/l	kg/s		Leir	Méla	Mór	Sandur	Leir	Méla	Mór	Sandur	
84.07.21	12:10	47	480	22,56	38	77	226	154	24	16	47	32	5	1,2
84.07.26	12:20	57	1236	70,45	38	87	420	680	49	7	34	55	4	1,3
84.08.01	21:45	55	827	45,49	40	50	281	455	41	6	34	55	5	0,9
84.08.09	10:35	42	390	16,38	35	31	125	187	47	8	32	48	12	1,0
84.08.15	14:20	33	269	8,88	44	32	116	100	22	12	43	37	8	1,5
84.08.24	15:30	31	263	8,15	49	37	103	84	39	14	39	32	15	1,1
84.08.30	09:45	32	236	7,55	44	26	83	85	42	11	35	36	18	1,2
84.09.12	09:45	16	73	1,17	42	15	30	17	12	20	41	23	16	0,8
84.09.25	09:30	14	28	0,39	49	5	18	4	2	18	63	13	6	0,6
84.10.03	10:00	12	62	0,74	49	7	10	16	30	11	16	25	48	2,4
Meðaltal	10 sýna	34	386	18,18	43	37	141	178	31	12	38	36	14	1,2
							178	209			50		50	

TAFLA 10. Þjórásá við Sóleyjarhöfða. Langæisreikningar svifaurs 1961-88, júlí-september, byggt á sýnum teknum 1966-84.

Reiknað út frá rennslisröð frá Vatnaskilum hf

%	Rennsli m ³ /s	Heildarsvifaur		Finn (<0,02 mm)		Grófur (>0,02 mm)		Leir (<0,002 mm)		Méla (0,002-0,02 mm)		Mór (0,02-0,2 mm)		Sandur (>0,2 mm)	
		kg/s	þús. tonna	kg/s	þús. tonna	kg/s	þús. tonna	kg/s	þús. tonna	kg/s	þús. tonna	kg/s	þús. tonna	kg/s	þús. tonna
0,0	384,3	855,3		215,1		626,0		53,0		159,7		179,8		393,7	
0,1	363,4	737,5	202	189,6	52	532,2	147	47,1	13	140,2	38	155,2	43	330,4	92
0,2	338,3	610,3	366	161,3	95	432,7	264	40,6	24	118,8	70	128,8	77	264,2	163
0,3	327,5	559,7	466	149,8	121	393,5	334	37,9	30	110,2	90	118,2	98	238,6	206
0,4	319,1	522,7	605	141,3	159	365,2	431	35,9	40	103,8	117	110,5	128	220,1	265
0,5	318,4	519,5	695	140,6	183	362,7	494	35,8	46	103,2	135	109,8	147	218,4	303
1,0	299,5	441,9	1206	122,5	324	303,9	846	31,5	82	89,6	238	93,6	255	180,5	512
1,5	287,8	397,4	1672	111,9	455	270,6	1165	28,9	116	81,6	333	84,2	354	159,2	701
2,0	280,6	371,8	2102	105,7	576	251,6	1457	27,5	147	77,0	422	78,9	445	147,2	872
2,5	275,6	354,4	2509	101,5	692	238,7	1731	26,4	178	73,8	506	75,2	531	139,0	1032
3,0	269,2	333,2	2891	96,3	802	223,1	1988	25,2	206	70,0	587	70,8	612	129,3	1181
3,5	262,7	312,1	3253	91,0	908	207,7	2229	23,9	234	66,1	663	66,3	689	119,7	1320
4,0	256,8	294,0	3594	86,5	1007	194,5	2456	22,8	260	62,7	735	62,5	762	111,5	1451
4,5	253,7	284,7	3894	84,2	1096	187,8	2654	22,2	284	61,0	799	60,6	825	107,4	1564
5,0	249,9	273,5	4207	81,4	1189	179,8	2860	21,6	308	58,9	867	58,2	892	102,4	1681
6,0	244,0	256,7	4801	77,1	1366	167,7	3249	20,5	355	55,7	995	54,7	1018	95,0	1902
7,0	238,1	240,5	5357	72,9	1534	156,2	3611	19,5	400	52,6	1116	51,3	1137	88,0	2107
8,0	233,2	227,7	5883	69,6	1694	147,1	3952	18,7	443	50,1	1231	48,6	1249	82,5	2298
10,0	225,9	209,3	6842	64,8	1989	134,1	4569	17,5	522	46,6	1444	44,7	1454	74,7	2643
12,0	220,1	195,3	7755	61,0	2273	124,3	5152	16,5	599	43,8	1648	41,7	1649	68,8	2967
15,0	211,1	174,9	8984	55,6	2660	110,2	5930	15,2	704	39,8	1925	37,4	1912	60,4	3395
20,0	199,6	150,7	10788	48,9	3240	93,6	7059	13,5	863	34,9	2340	32,3	2298	50,6	4010
30,0	180,9	116,2	13704	39,2	4206	70,4	8848	11,0	1131	27,8	3027	25,0	2924	37,2	4966
40,0	164,4	90,1	15975	31,6	4987	53,3	10208	9,0	1352	22,3	3579	19,4	3413	27,6	5678
50,0	147,7	67,9	17718	24,8	5609	39,1	11226	7,2	1530	17,4	4017	14,7	3789	19,8	6198
65,0	123,8	42,5	19565	16,6	6304	23,5	12271	5,0	1734	11,5	4502	9,2	4190	11,4	6717
80,0	82,2	14,3	20458	6,6	6676	7,1	12744	2,1	1848	4,5	4757	3,2	4385	3,1	6938
95,0	49,4	3,7	20710	2,1	6802	1,6	12864	0,7	1890	1,4	4841	0,8	4441	0,6	6989
100,0	31,9	1,2	20741	0,8	6820	0,5	12877	0,3	1897	0,5	4853	0,3	4448	0,2	6994
Meðaltal	146,4	741		244	35	460	65	68	11	173	27	159	24	250	38
%															
Svifaurslyktar		$q=0,000121 \times Q^{2,65}$		$q=0,00031 \times Q^{2,26}$		$q=0,00002 \times Q^{2,9}$		$q=0,00021 \times Q^{2,09}$		$q=0,000161 \times Q^{2,32}$		$q=0,0000304 \times Q^{2,62}$		$q=0,0000032 \times Q^{3,13}$	
Fylgni (18 sýni)		0,93		0,94		0,89		0,88		0,95		0,91		0,82	

TAFLA 11. Þjórásá við Sólvejarhöfða. Langæisreikningar svifaurs 1961-88, júlí-september, byggt á sýnum teknum 1984

Reiknað út frá rennslisröð frá Vatnaskilum hf. Skáletruðu gildin eru fengin með veldisvísi = 2,5, sjá nánar í texta

%	Rennslí m ³ /s	Heildarsvifaur kg/s þús. tonna	Fínn (<0,02 mm) kg/s þús. tonna	Groftur (>0,02 mm) kg/s þús. tonna	Leir (<0,002 mm) kg/s þús. tonna	Méla (0,002-0,02 mm) kg/s þús. tonna	Mór (0,02-0,2 mm) kg/s þús. tonna	Sandur (>0,2 mm) kg/s þús. tonna
0,0	384,3	1100,1	264,8	839,6	57,0	205,4	194,0	608,0
0,1	363,4	956,5	229,3	730,0	50,3	176,7	168,7	528,6
0,2	338,3	800,1	190,9	610,6	42,9	145,8	141,1	442,2
0,3	327,5	737,3	175,5	562,7	39,9	133,5	130,0	407,5
0,4	319,1	691,3	164,2	527,6	37,6	124,6	121,9	382,0
0,5	318,4	687,2	163,2	524,5	37,4	123,8	121,2	379,8
1,0	299,5	590,0	139,6	450,3	32,7	105,1	104,0	326,1
1,5	287,8	533,8	125,9	407,4	29,9	94,3	94,1	295,0
2,0	280,6	501,4	118,0	382,6	28,2	88,2	88,4	277,1
2,5	275,6	479,1	112,7	365,6	27,1	84,0	84,5	264,8
3,0	269,2	452,0	106,1	345,0	25,8	78,9	79,7	249,8
3,5	262,7	425,0	99,6	324,3	24,4	73,8	74,9	234,8
4,0	256,8	401,6	94,0	306,5	23,2	69,5	70,8	222,0
4,5	253,7	389,7	91,1	297,4	22,6	67,2	68,7	215,4
5,0	249,9	375,2	87,6	286,4	21,8	64,6	66,2	207,4
6,0	244,0	353,4	82,4	269,7	20,7	60,5	62,3	193,3
7,0	238,1	332,4	77,4	253,7	19,6	56,7	58,6	185,3
8,0	233,2	315,7	73,4	240,9	18,7	53,6	55,7	174,4
10,0	225,9	291,5	67,6	222,5	17,4	49,2	51,4	164,0
12,0	220,1	268,4	63,2	202,0	16,4	45,9	47,1	161,1
15,0	211,1	234,2	56,8	172,6	15,0	41,0	41,1	142,8
20,0	199,6	194,7	49,1	139,5	13,2	35,2	34,1	120,2
30,0	180,9	141,2	38,2	96,3	10,6	27,1	24,7	95,1
40,0	164,4	103,1	29,9	67,0	8,6	20,9	18,0	63,3
50,0	147,7	72,6	22,7	44,7	6,8	15,7	12,7	42,5
65,0	123,8	40,7	14,4	23,0	4,6	9,8	7,1	27,3
80,0	82,2	10,6	5,0	4,9	1,8	3,2	1,8	13,1
95,0	49,4	2,0	1,4	0,7	0,6	0,8	0,3	2,4
100,0	31,9	0,5	0,4	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3
Meðaltal	146,4	918	242	649	66	173	161	444
%								
Svifaurslyklar		$q=0,00000556 \times Q^{3,28}$	$q=0,00000603 \times Q^{2,57}$	$q=0,000000282 \times Q^{3,78}$	$q=0,00000229 \times Q^{2,69}$	$q=0,000000924 \times Q^{2,29}$	$q=0,0000000271 \times Q^{4,15}$	
Fylgni (10 sími)		0,96	0,98	0,94	0,96	0,97	0,95	0,93
Lyklar fyrir skáletruð gildi		$q=0,00038 \times Q^{2,5}$		$q=0,00029 \times Q^{3,5}$		$q=0,000067 \times Q^{2,5}$	$q=0,00021 \times Q^{2,5}$	

TAFLA 12. Þjórásá ofan Hreysiskvíslar. Langæisreikningar svifaurs 1961-88, júlí-september, byggt á sýnum teknum 1984.

Reiknað út frá rennsliroð frá Vatnaskilum hf

%	Rennsli m ³ /s	Heildarsvifaur		Finn (<0,02 mm)		Grófur (>0,02 mm)		Leir (<0,002 mm)		Méla (0,002-0,02 mm)		Mór (0,02-0,2 mm)		Sandur (>0,2 mm)	
		kg/s	þús. tonna	kg/s	þús. tonna	kg/s	þús. tonna	kg/s	þús. tonna	kg/s	þús. tonna	kg/s	þús. tonna	kg/s	þús. tonna
0,0	112,6	376,1		174,5		237,3		24,1		155,1		302,8		11,8	
0,1	100,9	270,4	82	126,1	38	166,3	51	18,2	5	110,4	34	202,3	63	9,4	3
0,2	94,3	220,2	143	103,0	67	133,4	88	15,3	10	89,3	59	157,4	108	8,1	5
0,3	92,5	208,2	180	97,5	84	125,6	111	14,6	12	84,3	74	147,0	134	7,8	6
0,4	89,5	188,3	229	88,3	107	112,7	140	13,4	16	76,1	93	130,0	169	7,3	8
0,5	88,3	180,8	261	84,9	122	107,9	159	12,9	18	73,0	106	123,8	190	7,1	9
1,0	81,3	140,8	427	66,4	200	82,4	257	10,5	30	56,4	173	91,2	299	5,9	16
1,5	78,0	124,3	574	58,7	270	72,1	343	9,4	41	49,6	232	78,3	393	5,4	23
2,0	75,8	114,0	709	53,9	333	65,7	420	8,7	51	45,4	285	70,4	477	5,1	29
2,5	73,9	105,4	831	50,0	391	60,4	490	8,2	61	41,9	334	64,0	551	4,8	34
3,0	72,4	99,2	945	47,0	445	56,5	555	7,8	70	39,3	379	59,4	620	4,6	39
3,5	70,0	89,5	1049	42,5	495	50,6	615	7,1	78	35,3	420	52,4	682	4,3	44
4,0	68,9	85,4	1147	40,6	541	48,1	670	6,8	86	33,7	459	49,5	739	4,1	49
4,5	67,6	80,7	1233	38,4	582	45,3	718	6,5	93	31,8	493	46,2	788	4,0	53
5,0	66,4	76,5	1320	36,5	624	42,8	767	6,2	100	30,1	527	43,3	838	3,8	58
6,0	64,7	70,7	1485	33,7	702	39,3	859	5,8	113	27,8	592	39,3	930	3,6	66
7,0	63,1	65,6	1638	31,3	775	36,2	944	5,5	126	25,7	652	35,8	1015	3,4	74
8,0	61,9	61,7	1781	29,5	843	33,9	1022	5,2	138	24,1	708	33,2	1092	3,3	81
10,0	59,5	54,8	2036	26,3	966	29,9	1162	4,7	160	21,4	807	28,8	1228	3,0	95
12,0	57,7	49,9	2272	23,9	1079	27,0	1290	4,3	180	19,4	899	25,7	1350	2,8	108
15,0	55,1	43,4	2582	20,9	1228	23,2	1457	3,8	207	16,8	1019	21,7	1508	2,6	126
20,0	52,0	36,6	3026	17,6	1441	19,3	1693	3,3	247	14,1	1190	17,6	1725	2,3	153
30,0	46,4	25,9	3706	12,6	1770	13,3	2048	2,5	310	9,9	1451	11,5	2039	1,8	198
40,0	42,2	19,4	4207	9,4	2014	9,8	2303	1,9	359	7,3	1641	8,1	2255	1,4	234
50,0	37,6	13,7	4571	6,7	2191	6,7	2484	1,4	396	5,1	1777	5,3	2401	1,1	262
65,0	31,2	7,8	4928	3,9	2367	3,7	2656	0,9	435	2,9	1910	2,7	2532	0,8	294
80,0	22,3	2,8	5104	1,4	2454	1,2	2736	0,4	456	1,0	1974	0,8	2588	0,4	313
95,0	13,4	0,6	5151	0,3	2478	0,2	2756	0,1	463	0,2	1990	0,1	2599	0,1	320
100,0	8,3	0,1	5156	0,1	2481	0,1	2757	0,0	464	0,1	1992	0,0	2600	0,0	321
Meðaltal	38,2		184		89		98		17		71		93		11
%					48		52		9		37		48		6
Svifaurslyklar			$q=0,00024 \times Q^{3,02}$		$q=0,000141 \times Q^{2,97}$		$q=0,0000511 \times Q^{3,25}$		$q=0,000129 \times Q^{2,57}$		$q=0,0000647 \times Q^{3,11}$		$q=0,00000816 \times Q^{3,69}$		$q=0,0000483 \times Q^{2,14}$
Fylgni (10 sýni)		0,98		0,99		0,95		0,98		0,99		0,97		0,84	

Svifaurslyklarnir eru með góða fylgni svifaurs og rennslis, en veldisvísar eru stundum of háir eða á bilinu frá 3 og upp í rúmlega 4. Þetta á við um Þjórsá við Sóleyjarhöfða, sérstaklega ef aðeins er reiknað með sýnunum frá 1984. Þá er lykillinn látinn gilda fyrir rennsli, sem er 90% af tímanum (<225,9 m³/s), sem er um það bil rennslið við hæsta mælda gildi. Fyrir hærra rennsli, sem er 10% tímans, er notaður annar lykill með veldisvísi 2,5. Sú tala er byggð á þeirri reynslu, að sá stuðull er á því bili, sem algengast er fyrir veldisvísa svifaurslykla. Lyklarnir skerast við rennslið Q₁₀, sjá töflu 11.

Lyklar eru reiknaðir fyrir heildarsvifaur og fyrir mismunandi kornastærðir. Lyklarnir eru birtir ásamt langæisreikningum svifaurs í töflum 10-12. Fyrir Þjórsá við Sóleyjarhöfða eru lyklar reiknaðir bæði fyrir sýnin frá 1984 annars vegar og hins vegar fyrir öll sýni, sem til eru þaðan. Rennslisráðir voru fengnar frá Vatnaskilum hf.

Sýnin frá þessum stöðum voru öll tekin að sumarlagi og gilda því svifaurslyklarnir eingöngu fyrir sumarið, en í jökulám, sem eiga upptök sín á hálendinu, eru sumarlyklarnir látnir ná yfir mánuðina júlí - september, en áhrif jökulleysingar á framburð svifaurs eru langmest á þeim tíma árs. Þessari skilgreiningu verður fylgt hér. Hinn hluti ársins, mánuðirnir október - júní, eru þá skilgreindir sem vetur.

Svifaur var mældur í Þjórsá að vetrarlagi í byggð og við Sultartanga, áður en virkjanir trufluðu aurburðinn. Vetrarframburður er eitthvað minni að heildarmagni en sumarframburður. Svifaurinn er grófkornaðri á veturna en sumrin. Samkvæmt skilgreiningunni að framan telst veturinn frá október til júníloka, og er því framburður í vorflóðum talin með honum, en það skýrir, að munur á vetrar- og sumarframburði er ekki verulegur hvað magn snertir. Út frá reynslu frá Þjórsá niðri í byggð og frá ýmsum öðrum ám má gera ráð fyrir, að framburður grófs svifaurs sé álíka mikill að vetri og sumri. Fínn aurburður er aftur á móti að minnsta kosti helmingi minni á veturnum en sumrum. Út frá þessu má áætla heildarsvifaur ársins með því að margfalda grófan sumarsvifaur með 2 og fínan sumarsvifaur með 1,4.

Samkvæmt mælingum sumarið 1984 og ofansögðu hefur heildarsvifaur á stífustæði **ofan Hreysiskvíslar** væntanlega verið um **320 000 tonn á ári** og er þá gengið út frá meðaltölum í töflu 12. Út frá sýnum teknum sama sumar við **Sóleyjarhöfða**, sjá töflu 11, reiknast heildarsvifaur um fimmfalt meiri þar eða **1 640 000 tonn á ári**.

Sé hins vegar gengið út frá öllum sýnunum frá sumrunum 1966-1984, en flest þeirra voru tekin fyrsta og síðasta sumarið, sjá töflu 10, reiknast heildarsvifaurinn nokkru minni eða **1 260 000 tonn á ári**.

Þessi svifaursframburður er í góðu samræmi við mælingar neðar í Þjórsá, sem bentu til þess, að um 1 500 000 tonn kæmu árlega niður Efri-Þjórsá. Þessi sumur, 1966 og 1984, sem hér er aðallega stuðst við, eru mjög ólík. Fyrri sumarið var kalt, en það seinna væntanlega í góðu meðallagi hvað rennsli snertir. Á sumrin er rúmlega helmingur svifaursins grófur á stíflustæði, en 2/3 við Sóleyjarhöfða. Á veturnum er örugglega enn stærri hluti svifaursins grófur. Í heild má gera ráð fyrir, að um 70-80% svifaurs Þjórsár á fjöllum uppi sé grófur aur, en í öðrum aðalþverám Þjórsár er grófur aur ennþá stærri hluti heildarsvifaurs. Allt er þetta í góðu samræmi við niðurstöður í skýrslunni *Áhrif virkjunarframkvæmda á aurburð í Þjórsá* Orkustofnun OS82044/VOD07 eftir Hauk Tómasson.

Þegar skýrsla sú, sem hér birtist, var að verða tilbúin, barst athugasemd frá Landsvirkjun við þá flokkun svifaurs í kornastærðarflokka, sem fylgt hefur verið á Orkustofnun í meira en tvo áratugi og einnig er notuð í þessari skýrslu. Athugasemdin er í stuttu máli sú, að eðlilegt sé að setja mörkin á milli fíns og grófs aurs við 0,06 mm, þ. e. í miðjum móflokki, en ekki við 0,02 mm.

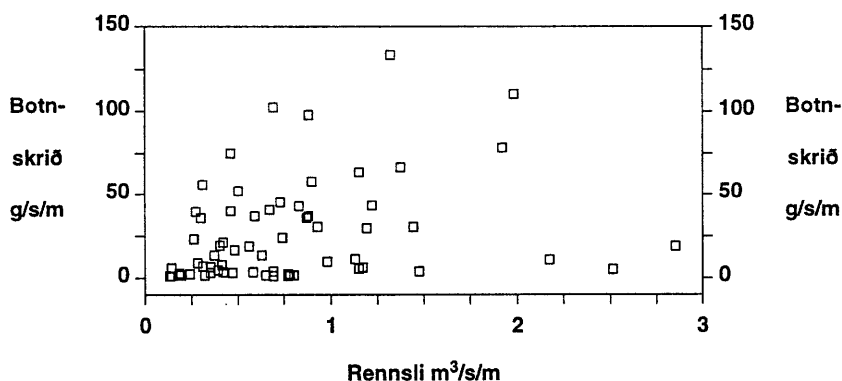
Við kornastærðina 0,06 mm er kornastærðarferillinn tiltölulega ónákvæmur, því að þar eru mót tveggja mæliaðferða. Við kornastærðina 0,063 mm endar kornastærðarmæling með sigtum, en sigti af þeirri kornastærð eru ónákvæmari en grófari sigti og miklu viðkvæmari. Til þessa að

mæla kornastærðardreifingu finna efnis er notuð setvog, sem byggir á fallhraða korna í vatni. Sú aðferð fer að verða sæmilega nákvæm, þegar kornastærðin er komin niður í 0,02-0,03 mm. Algengt er, að brot komi á kornastærðarferilinn við þessi mörk, sem er mjög skiljanlegt, þar sem tvær mæliaðferðir mætast. Hafa ber í huga, að hér er aðeins um að ræða vandkvæði við kornastærðarmælingu, ekki mælingu á heildarstyrk svifaursins.

Til þess að koma til móts við óskir Landsvirkjunar var móflokknur skipt í tvennt við 0,06 mm og framburður svifaurs af stærðarflokkunum fínsmó og grófmó reiknaður. Niðurstaðan var sú, að ofan Hreysiskvíslar reiknaðist um 45% mósins >0,06 mm, en við Sóleyjarhöfða um 55% >0,06 mm. Lyklarnir, sem notaðir voru við þessa reikninga ásamt langæisreikningum, eru birtir í viðauka. Í heildarniðurstöðu er enginn munur á þessum aðferðum.

4. SVIFAUR OG BOTNSKRIÐ Í MÆLISNIÐUM

Svifaur er í aurburðartöflum Orkustofnunar skipt í grófan og fínan aur við kornastærðina 0,02 mm. Fíni aurinn er þá leir og méla, en sá grófi mór og sandur. Mörkin milli fínsands og grófsands eru við kornastærðina 0,6 mm. Við þá kornastærð eru gjarnan talin vera mörkin milli svifaurs og botnskriðs. Svifaur nær samkvæmt mælingum aðeins upp í grófsand sem einstaka korn, sem sennilega eru hoppandi nærri botni. Samkvæmt mælingunum nær botnskrið til fínsands. Á grjótmottu og öðrum grófum botni er hið litla botnskrið, sem finnst, að verulegu leyti fínsandur og jafnvel mór. Þetta botnskrið hefur greinilega tilhneigingu til að hverfa með vaxandi straumhraða.



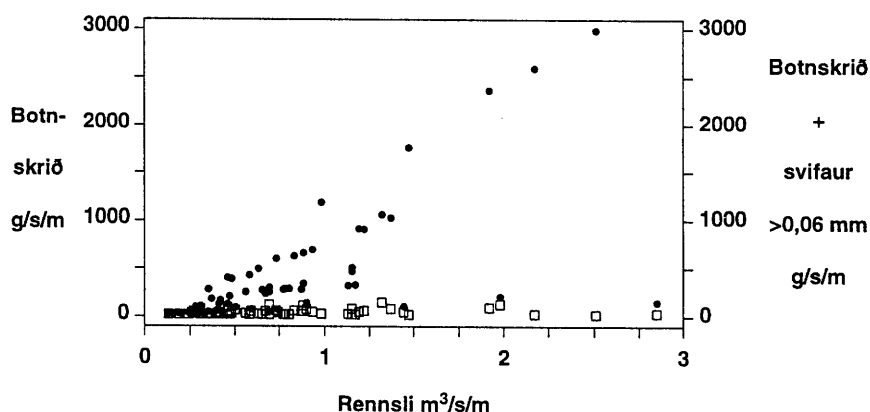
MYND 3. Samband rennslis og botnskriðs, gögn frá vatnasviði Þjórsár.

Á 3. mynd er sýnt samband botnskriðs og rennslis á hvern breiddarmetra fyrir öll snið, sem mæld voru í Þjórsá og þverám hennar á árunum 1982-84. Ekki er að sjá neitt samband á milli þessara stærða í þessu gagnasafni. Við hæstu rennslisgildin getur verið lítið botnskrið og við lágt rennsli getur verið mikið botnskrið. Skoðað var samband á milli botnskriðs og botnefnis, og kom í ljós, að botnskriðið er mest, þegar botnefnið er að verulegu leyti sandur og fínsmöl, sem eru sömu kornastærðir og eru í botnskriðinu, og er sandur þar aðalkornastærðarflokkurinn. Þegar botnskrið er lítið, er oft grófur botn eða grjótmotta. Mynd 3 sýnir í raun og veru, að botnskriðið, sem er aðallega sandur, hættir að berast sem botnskrið með vaxandi straumhraða og verður að svifaur.

Á 4. mynd er sýnt samband rennslis á hvern breiddarmetra bæði við botnskrið, eins og á 3. mynd, og einnig við botnskrið + svifaur >0,06 mm. Þessi stærðarmörk í svifaurnum voru valin með tilliti til þess að ná til þess svifaurs, sem getur borist fram sem botnskrið. Gert er ráð fyrir, að finni aur berist ekki fram sem botnskrið, a. m. k. ekki í þessum ám. Á myndinni blasa eftirtalin atriði við:

- Svifaurinn er langoftast yfirgnæfandi hluti heildarframburðar.

- Ekkert sýnilegt samband er á milli rennslis og botnskriðs, eins og áður hefur komið fram.
- Heildarframburður eykst með vaxandi rennsli, en mjög mismikið. Það einkenni tengist svifaurnum, ekki botnskriðinu.
- Varðandi andstæðurnar í aukningu botnskriðs + svifaurs >0,06 mm með rennsli má geta þess, að deplarnir fimm, sem raða sér nokkurn veginn á beina línu efst á myndinni, eiga við Köldukvísl. Þar berst aurinn nær allur fram sem svifaur. Botnsýni náðust ekki, sem bendir til þess, að botninn sé grófur. Hins vegar eiga deplarnir þrjú neðst á myndinni hægra megin við Þjórsá við Sandártungu. Þar er framburður mjög lítil miðað við rennsli, enda sest mikið af aurnum til í lónum ofar á vatnasviðinu. Botninn var meðalgrófur á tveimur tókustöðunum, en botnsýni náðist ekki á þriðja staðnum, þar sem rennslið er mest. Sennilega náðist það ekki vegna of mikils dýpis.



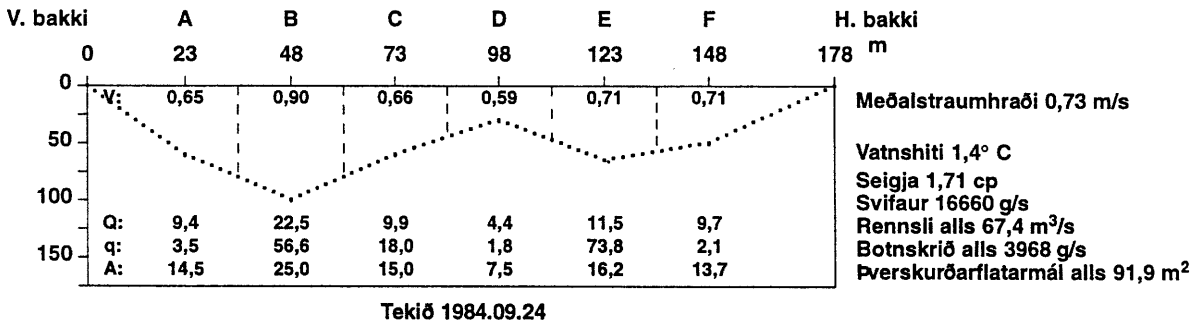
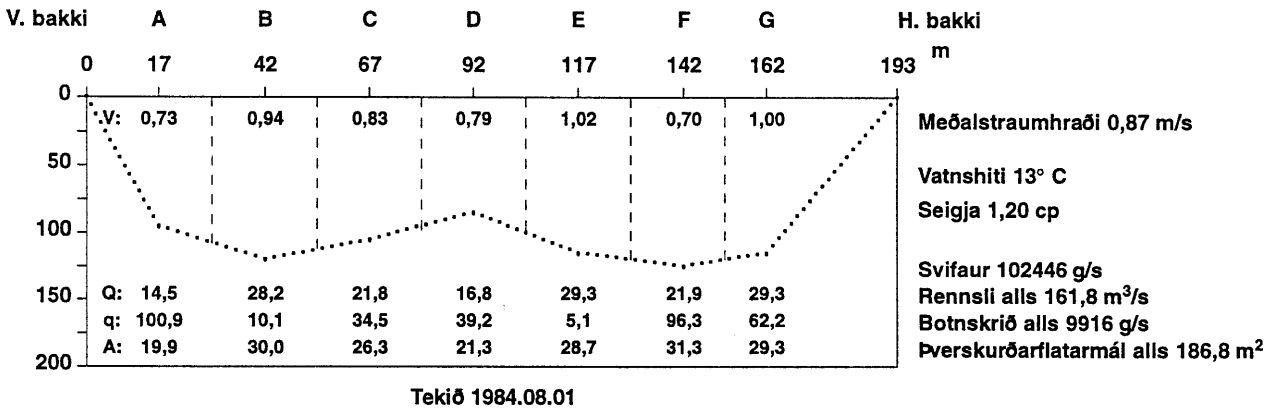
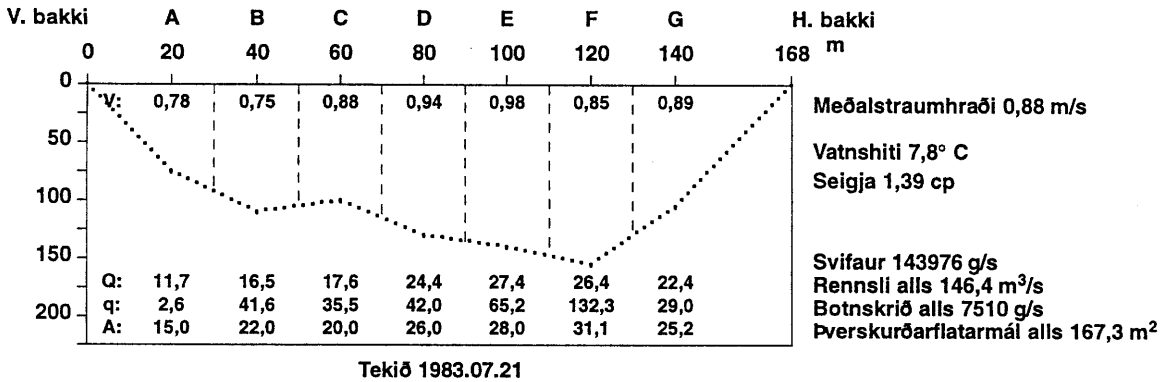
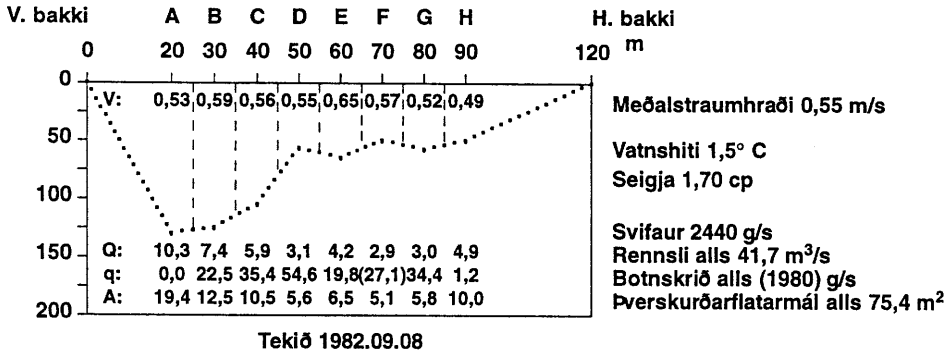
MYND 4. Samband rennslis og annars vegar botnskriðs □ og hins vegar botnskriðs + svifaurs >0,06 mm •. Gögn frá vatnasviði Þjórsár.

Í þessu samhengi er vert að líta á kornastærðarferla botnskriðs, botnefnis og svifaurs fyrir snið úr Þjórsá við Sóleyjarhöfða, sem sýndir eru á mynd 2 hér framar, annars vegar fyrir snið, þar sem er mikið botnskrið og hins vegar lítið botnskrið. Myndin sýnir vel, að botnefnið er grófast, botnskriðið í miðju og svifaurinn fínastur. Sandur kemur fyrir í öllum formunum. Þegar aðflutningur botnefnis er minni en flutningsgeta árinna, breytist botnefnið smám saman og verður grófara og að lokum að grjótmottu. Miklu grófari botn en botnskrið bendir til minna botnskriðs en sem nemur flutningsgetu árinna. Þarna virðist oft muna miklu samkvæmt niðurstöðunum hér að framan.

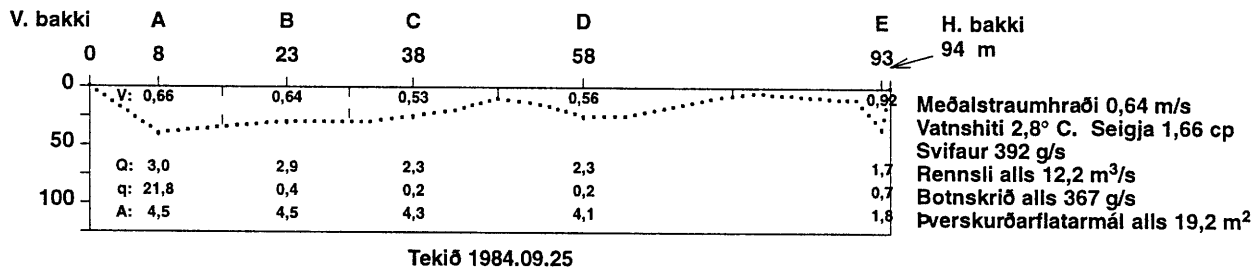
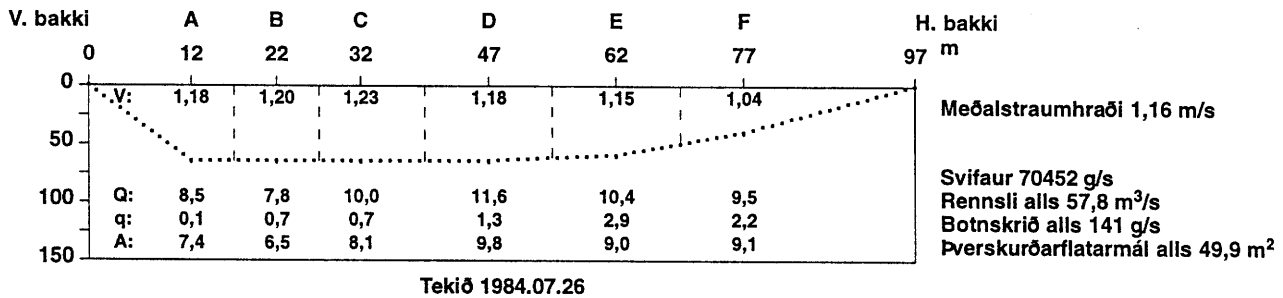
5. BOTNSKRIÐ Í ÞVERSNIDUM

Á myndum 5 og 6 er niðurstöðum allra mælinganna raðað í þversnið mælistaðanna og fengnar heildartölur þversniðsins fyrir hverja mælingu.

Eins og áður segir, náðist ekki botnefni úr Þjórsá á stíflustæðinu ofan Hreysiskvíslar, en langoftast úr Þjórsá við Sóleyjarhöfða. Ástæða þess, að ekki náðust botnsýni frá stíflustæði, er sennilega sú, að þar hefur myndast grjótmotta. Botnskrið á stíflustæði er nánast ekkert og það litla, sem mældist, er að töluverðu leyti mór, sem ef til vill má líta á sem svifaur, sem botnskriðssýnatakin hefur fangað. Í einu mælisniðinu ofan Hreysiskvíslar var nokkurt botnskrið, sem sennilega hefur verið í mjög þunnri sandöldu ofan á grjótmottunni. Sandöldur berast sjálfsagt niður farveginn öðru hverju og tíðni þeirra verður að metast út frá því hversu oft við rekumst á þær við sýnatöku. Á stíflustæðinu rákumst við á sandöldu í einu tilfelli af ellefu.



MYND 5. Þjórsá við Sóleyjarhöfða. Þversnið með mæli- og sýnatökustöðum.
 V = straumhraði m/s, Q = rennsli m³/s, q = botnskrið g/s/m, A = þverskurðarflatarmál.



MYND 6. Þjórsá ofan Hreysiskvíslar. Þversnið með mæli- og sýnatökustöðum.
 $V =$ straumhraði m/s, $Q =$ rennsli m³/s, $q =$ botnskrið g/s/m, $A =$ þverskurðarflatarmál.

Rétt er að vekja athygli á því, að það sem kallað er "Rennsli alls" á myndum 5 og 6, þ. e. summur einstakra rennslisgilda úr hverjum sniðhluta um sig, er ekki notað sem gildi fyrir rennsli annars staðar í skýrslunni, enda of ónákvæmt til þess.

Niðurstöður úrvinnslu gagna frá þessum sex mælingum eru í töflu 13. Atriðin, sem þar eru talin upp, eru þessi:

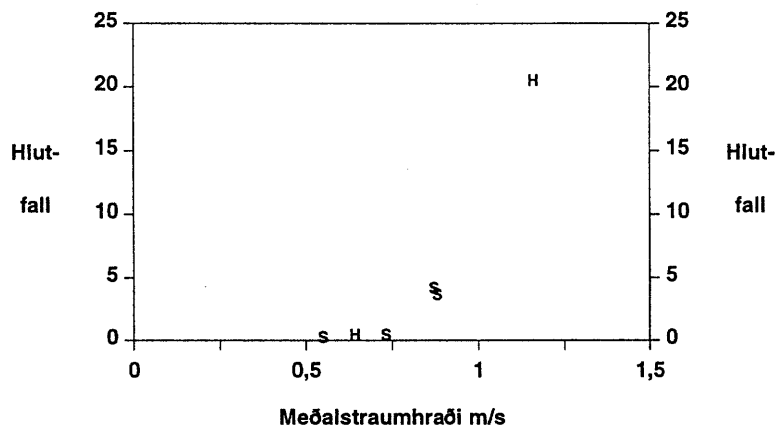
- Rennsli, þegar sýnin voru tekin.
- Heildarbotnskrið.
- Hundraðshluti malar í botnskriði.
- Framburður sands í svifaur samkvæmt svifaurslykli.
- Framburður malar.
- Hlutfallið milli framburðar sands í svifaur og botnskriði.
- Hundraðshluti mós í botnskriði.
- Hundraðshluti sands í botnskriði.
- Straumhraði.

Kornastærðarflokkarnir eru, *mór*, hér skilgreindur sem efni með minni kornastærð en 0,2 mm; *sandur*, 0,2-2 mm og *möl* með kornastærð yfir 2 mm. Mór er annars í kornastærðarkvarða Atterbergs, sem hér er gengið út frá, notaður um efni á kornastærðarbilinu 0,02 - 0,2 mm. Aðalbotnskriðsefnið er af sandkornastærð. Mörkin milli svifaurs og botnskriðs eru mjög fljótandi, en straumhraði, sem er tæplega 1 m/s, virðist vera nægilegur til þess að allur aur af sandkornastærð berist fram sem svifaur, en þegar straumhraðinn er kominn niður í rúmlega 0,5 m/s, berst sandurinn fram sem botnskrið.

TAFLA 13. Úrvinnsla á botnskriði og samanburður við sand í svifaur

Rennsli m ³ /s	Botn- skrið kg/s	Möl % botnskriðs	Sandur í svifaur kg/s	Möl kg/s	Hlutfallið Sandur í svifaur/ Sandur í botnskriði	Mór % botnskriðs	Sandur % botnskriðs	Straum- hraði m/s
Þjórsá við Sóleyjarhöfða								
40,0	1,98	7	0,14	0,14	0,07	2	91	0,73
168,0	7,51	14	26,20	1,05	3,49	6	80	0,87
181,0	9,92	28	39,68	2,78	4,00	5	66	0,88
85,0	3,97	10	1,05	0,40	0,26	10	80	0,55
Þjórsá ofan Hreysiskvíslar								
57,0	0,14	3	2,85	0,004	20,36	31	67	1,16
14,0	0,37	6	0,10	0,022	0,27	8	86	0,64

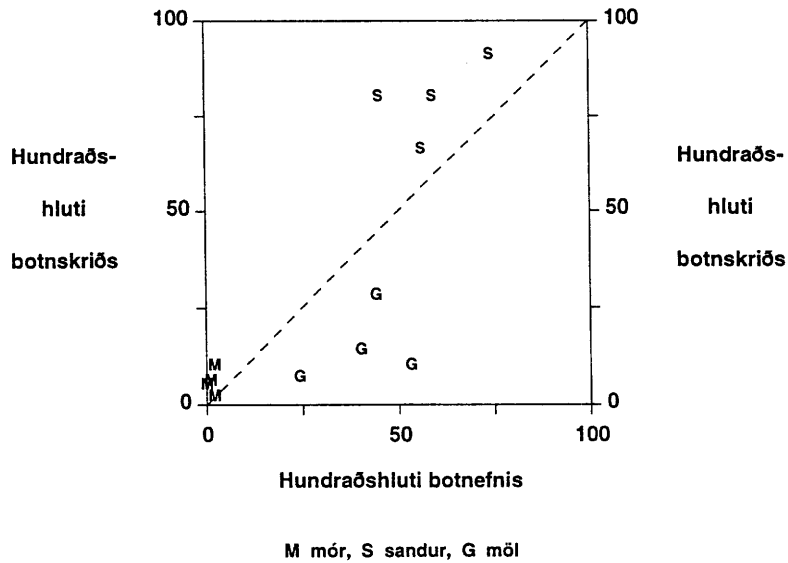
Heppilegt er að bera botnskriðið saman við sandhlutann í svifaurnum. Hann er mældur með stöðluðum aðferðum og má því nota hlutfall til ákvörðunar á heildarmagni. Eins og sést í töflu 13 og á 7. mynd, er þetta hlutfall mjög lágt við lítið rennsli og straumhraða. Þá er botnskriðið mun meira en sandur í svifaur. Við hárennsli og aukinn straumhraða snýst þetta mjög rækilega við og er sandur í svifaur þá miklu meiri en botnskriðið. Þetta stafar af því, að sandurinn berst fram sem svifaur við hærri straumhraðann. Þótt botnskrið af sandkornastærð sé verulegt við lágrennsli í hlutfalli við svifaursflutning af sömu kornastærð, hlýtur botnskriðið að vera líttill hluti af heildaraurburði yfir árið.



S Sóleyjarhöfði, H stíflustæði

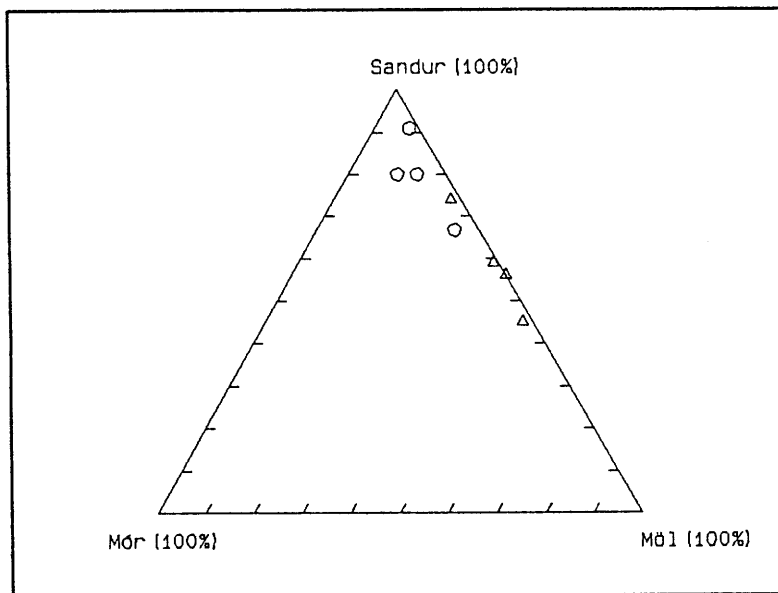
MYND 7. Hlutfallið: sandur í svifaur samkvæmt svifaurslykli / mælt botnskrið.

Samband er á milli malar og sands í botni og botnskriði. Það sést á mynd 8 og þríhyrningslínuritinu á mynd 9, en báðar myndirnar eru byggðar á mælingunum fjórum í Þjórsá við Sóleyjarhöfða. Á myndunum er ofangreind þríflokkun kornastærða. Á þeim sést, að sandur er hlutfallslega meiri í botnskriði en í botnefni, en þessu er öfugt farið með möl. Aðeins vottar fyrir mó í botnskriði, en hann sést varla í botnefni.



MYND 8. Samanburður á meðalkornastærðum botnefnis og botnskriðs við Sóleyjarhöfða.

Eins og sést á mynd 7 og í töflu 13, er svoltil mól í botnskriðinu við Sóleyjarhöfða. Mölin og enn grófara efni getur ekki borist fram sem svifaur svo neinu nemi. Í svifaurnum er nánast engin möl og þótt hún hræðist upp nærðist hún ekki í svifaurnssýnataka, vegna þess að stútar þeirra eru of þröngir. Niðurstöður mælinganna benda til þess, að malarburður í botnskriði vaxi ört með vaxandi rennsli og straumhraða.



MYND 9. Þjórásá við Sóleyjarhöfða. Dreifing botnefnis Δ og botnskriðs \circ .

Mynd 10 sýnir samband malarburðar og rennslis fyrir þessar fjórar mælingar. Ef nota á þetta til þess að gera jöfnu um þetta samband væri hún á sama formi og aðrir aurburðarlyklar,

$$q_s = k \times Q^n$$

Eins og sést á myndinni, fellur ferill jöfnu, þar sem $n = 2$ og $k = 10^{-4}$, nokkuð vel að mældu gildunum fjórum. Við frekar lágt rennsli er mölin álíka mikil og sandur í svifaur, en miklu minni við miðlungs- og hárennsli. Við hæsta melda gildið af malarskriði er það 7% af sandburði í svifaur, sjá töflu 13. Niðurstaðan er því sú, að malarskrið með botni sé fáein prósent af sandburði í svifaur. Þetta botnskrið er viðbót við mældan svifaur árinna.

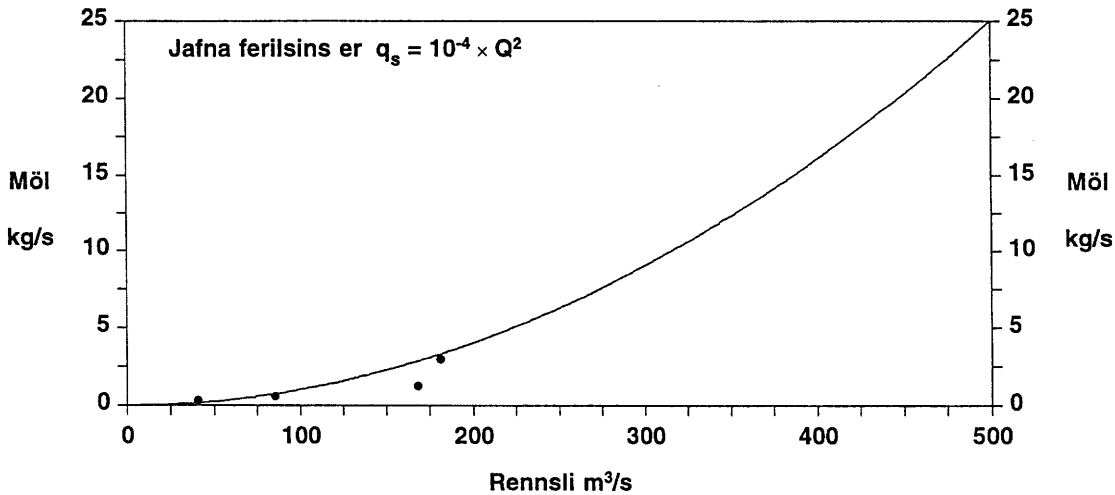
Langæisreikningar botnskriðs af malarstærð í Þjórsá við Sóleyjarhöfða eru sýndir í töflu 14. Þar kemur fram, að meðalbotnskrið af þeirri kornastærð reiknast 45 þúsund tonn á ári.

TAFLA 14. Þjórsá við Sóleyjarhöfða. Langæisreikningar botnskriðs af malarstærð

Árin 1961-88, allt árið. Reiknað út frá rennslisröð frá Vatnaskilum hf.

Notuð var jafnan $q_s = 10^{-4} \times Q^2$

%	Rennsli m ³ /s	Framburður malar	
		kg/s	þúsundir tonna
0,0	606,1	36,74	
0,1	506,5	25,65	28
0,2	458,4	21,01	47
0,3	435,5	18,97	65
0,4	392,1	15,37	79
0,5	377,3	14,24	93
1,0	337,0	11,36	149
1,5	313,4	9,82	195
2,0	295,0	8,70	236
2,5	280,9	7,89	272
3,0	269,7	7,27	305
3,5	261,7	6,85	337
4,0	254,1	6,46	366
4,5	247,7	6,14	394
5,0	242,0	5,86	421
6,0	231,0	5,34	470
7,0	224,1	5,02	515
8,0	216,2	4,68	558
10,0	203,4	4,14	636
12,0	192,9	3,72	705
15,0	180,1	3,24	797
20,0	159,0	2,53	924
30,0	117,8	1,39	1097
40,0	71,4	0,51	1175
50,0	45,7	0,21	1204
65,0	31,4	0,10	1222
80,0	28,6	0,08	1234
95,0	27,2	0,07	1245
100,0	25,7	0,07	1248
Meðaltal á ári			45



MYND 10. Samband rennslis og malarburðar í Þjórsá við Sóleyjarhöfða.

6. NIÐURSTÖÐUR

Svifaur á stíflustæði ofan Hreysiskvíslar reiknast um **320 000 tonn á ári**. Eingöngu er byggt á sýnum teknum 1984. Mælt botnskrið er hverfandi lítið í hlutfalli við svifaurinn. Botninn er svo grófur, að ekkert samband er á milli botnskriðs og botnefnis. Botnefni finnst ekki í botnskriði. Rúmmálið væri **230 000 m³ á ári**, ef allt settist til.

Svifaur í Þjórsá við Sóleyjarhöfða reiknast um **1 640 000 tonn á ári**, ef eingöngu er byggt á sýnum teknum 1984, en **1 260 000 tonn á ári**, ef byggt er á sýnum teknum 1966-84, langflestum 1966 og 1984. Mælt botnskrið er þar einnig lítið miðað við svifaurinn. Það er þó mælanlegt og gefa þær mælingar til kynna hegðunareinkenni aurburðarins á þessu svæði. Einkenni aurs af sandkornastærð eru þau, að hann berst mest fram sem botnskrið við lítinn straumhraða og rennsli, en hverfur að mestu úr botnskriðinu, þegar straumhraðinn fer að nálgast 1 m/s. Samband er á milli botnefnis og botnskriðs við Sóleyjarhöfða. Hvorttveggja inniheldur sömu kornastærðarflokka, þótt meira sé af grófu í botnefninu. Malarburður er mælanlegur og fylgir rennsli samkvæmt sams konar aurburðarlykli og svifaurinn. Malarburðurinn er þó líttill í hlutfalli við svifaurinn. Rúmmál svifaursins væri u. þ. b. **1 030 000 m³ á ári**, ef hann settist allur til.

Almennt má segja, að í venjulegum auravötnum berist möl aðeins fram sem botnskrið. Öðru máli gegnir um sand. Hann berst ýmist fram sem botnskrið eða svifaur eftir straumhraða. Sú breyting verður á tiltölulega þröngu straumhraðabili eða frá 0,6-0,9 m/s. Við lægra gildið fellur megnið af sandinum út og verður að botnskriði, en við efra gildið hrærist megnið upp og verður svifaur. Við framkvæmdir í Kvíslaveitu hlýtur straumhraði að falla niður fyrir lægra gildið ofan veitumannvirkja, og mun þá sandurinn verða að botnskriði. Fellur þá út sandur, sem nemur um **12 000 tonn-um** eða **8500 m³ á ári**. Til þess að losna við sandinn þarf að mynda straum í gegnum veitulón með straumhraða um 1 m/s.

Til þess að koma til móts við óskir Landsvirkjunar var sérstaklega reiknaður framburður svifaurs af kornastærðunum fínsmó (0,02-0,06 mm) og grófmó (0,06-0,2 mm). Álíka mikill framburður reiknaðist af hvorum stærðarflokknum um sig, um 45% af mónum ofan Hreysiskvíslar reiknast grófmór, en 55% við Sóleyjarhöfða. Niðurstaða um heildaraurburð má heita óbreytt. Langæisreikningar fyrir þessa kornastærðarflokka eru birtir í viðauka.

VIÐAUKI

Langæisreikningar fínmós (0,02-0,06 mm) og grófmós (0,06-0,2 mm)

Þjórsá við Sóleyjarhöfða. Langæisreikningar fínsmós og grófmós byggt á sýnum teknum 1966-84

Árin 1961-88, júlí-september. Reiknað út frá rennslisröð frá Vatnaskilum hf.

%	Rennsli m ³ /s	Fínsmór (0,02-0,06 mm)		Grófmór (0,06-0,2 mm)	
		kg/s	þúsundir tonna	kg/s	þúsundir tonna
0,0	384,3	88,1		86,6	
0,1	363,4	75,2	21	75,5	21
0,2	338,3	61,5	37	63,4	38
0,3	327,5	56,0	47	58,5	48
0,4	319,1	52,1	61	55,0	63
0,5	318,4	51,7	70	54,6	72
1,0	299,5	43,5	120	47,0	126
1,5	287,8	38,9	166	42,6	176
2,0	280,6	36,2	208	40,1	223
2,5	275,6	34,4	248	38,4	266
3,0	269,2	32,2	285	36,2	308
3,5	262,7	30,0	320	34,1	347
4,0	256,8	28,2	352	32,3	385
4,5	253,7	27,2	381	31,3	418
5,0	249,9	26,1	411	30,2	452
6,0	244,0	24,4	467	28,5	518
7,0	238,1	22,7	520	26,8	580
8,0	233,2	21,4	570	25,5	639
10,0	225,9	19,6	660	23,6	746
12,0	220,1	18,2	745	22,1	849
15,0	211,1	16,2	859	20,0	989
20,0	199,6	13,8	1025	17,4	1196
30,0	180,9	10,4	1290	13,7	1537
40,0	164,4	8,0	1492	10,8	1807
50,0	147,7	5,9	1645	8,3	2018
65,0	123,8	3,6	1803	5,4	2248
80,0	82,2	1,1	1876	2,0	2365
95,0	49,4	0,3	1895	0,6	2401
100,0	31,9	0,1	1897	0,2	2406
Meðaltal			68		86
%			44		56
Svifaurslyklar		$q=0,00000427 \times Q^{2,83}$		$q=0,0000403 \times Q^{2,45}$	
Fylgni (18 sýni)		0,90		0,89	

Þjórsá við Sóleyjarhöfða. Langæisreikningar fínsmós og grófmós byggt á sýnum teknum 1984

Árin 1961-88, júlí-september. Reiknað út frá rennslisröð frá Vatnaskilum hf.

%	Rennsli m ³ /s	Fínsmór (0,02-0,06 mm)		Grófmór (0,06-0,2 mm)	
		kg/s	þúsundir tonna	kg/s	þúsundir tonna
0,0	384,3	161,6		134,6	
0,1	363,4	131,9	37	113,5	31
0,2	338,3	101,8	65	91,2	56
0,3	327,5	90,4	81	82,5	71
0,4	319,1	82,3	103	76,2	91
0,5	318,4	81,6	117	75,7	104
1,0	299,5	65,4	194	62,8	177
1,5	287,8	56,5	261	55,6	243
2,0	280,6	51,6	321	51,5	303
2,5	275,6	48,3	377	48,7	359
3,0	269,2	44,4	429	45,3	411
3,5	262,7	40,6	476	42,0	460
4,0	256,8	37,4	520	39,2	506
4,5	253,7	35,8	558	37,8	546
5,0	249,9	33,9	597	36,1	587
6,0	244,0	31,1	670	33,5	665
7,0	238,1	28,4	736	31,1	737
8,0	233,2	26,4	798	29,2	805
10,0	225,9	23,5	907	26,5	927
12,0	220,1	21,4	1009	24,5	1042
15,0	211,1	18,4	1140	21,5	1195
20,0	199,6	15,0	1325	18,1	1414
30,0	180,9	10,5	1600	13,4	1758
40,0	164,4	7,4	1796	10,0	2015
50,0	147,7	5,0	1932	7,2	2205
65,0	123,8	2,6	2060	4,2	2396
80,0	82,2	0,6	2108	1,2	2479
95,0	49,4	0,1	2116	0,2	2498
100,0	31,9	0,0	2117	0,1	2500
Meðaltal			76		89
%			46		54
Svifauslyklar		$q=0,00000007 \times Q^{3,63}$		$q=0,00000166 \times Q^{3,06}$	
Fylgni (10 sýni)		0,91		0,95	

Þjórsá ofan Hreysiskvíslar. Langæisreikningar fínsmós og grófmós byggt á sýnum teknum 1984

Árin 1961-88, júlí-september. Reiknað út frá rennslisröð frá Vatnaskilum hf.

%	Rennsli m ³ /s	Fínsmór (0,02-0,06 mm)		Grófmór (0,06-0,2 mm)	
		kg/s	þúsundir tonna	kg/s	þúsundir tonna
0,0	112,6	226,3		112,5	
0,1	100,9	144,2	46	77,6	24
0,2	94,3	109,0	78	61,6	41
0,3	92,5	101,0	96	57,9	52
0,4	89,5	88,0	119	51,7	65
0,5	88,3	83,3	134	49,4	74
1,0	81,3	59,2	204	37,3	118
1,5	78,0	50,0	265	32,5	157
2,0	75,8	44,4	318	29,4	192
2,5	73,9	39,9	365	27,0	223
3,0	72,4	36,7	408	25,2	252
3,5	70,0	31,9	445	22,4	279
4,0	68,9	29,9	480	21,3	303
4,5	67,6	27,7	510	20,0	324
5,0	66,4	25,8	539	18,8	346
6,0	64,7	23,2	594	17,2	386
7,0	63,1	20,9	644	15,8	423
8,0	61,9	19,2	688	14,8	458
10,0	59,5	16,4	766	12,9	518
12,0	57,7	14,4	835	11,7	574
15,0	55,1	11,9	923	10,0	646
20,0	52,0	9,4	1041	8,2	746
30,0	46,4	5,9	1205	5,6	896
40,0	42,2	4,0	1313	4,0	1002
50,0	37,6	2,5	1383	2,7	1076
65,0	31,2	1,1	1443	1,5	1145
80,0	22,3	0,3	1465	0,5	1177
95,0	13,4	0,0	1469	0,1	1184
100,0	8,3	0,0	1469	0,0	1185
Meðaltal			52		42
%			55		45
Svifaurislyklar		$q=0,0000008 \times Q^{4,12}$		$q=0,0000125 \times Q^{3,39}$	
Fylgni (10 sýni)		0,99		0,95	