



ORKUSTOFNUN

Vatnamælingar

Framburður svifaurs í Hvítá í Borgarfirði

Svanur Pálsson
Guðmundur H. Vigfússon

Unnið fyrir auðlindadeild Orkustofnunar

1998

OS-98017



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 546500

**Svanur Pálsson
Guðmundur H. Vigfússon**

Framburður svifaurs í Hvítá í Borgarfirði

Unnið fyrir auðlindadeild Orkustofnunar

**OS-98017
Reykjavík, maí 1998**



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Lykilsíða

Skýrsla nr.: OS-98017	Dags.: Maí 1998	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokað til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Framburður svifaurs í Hvítá í Borgarfirði		Upplag: 30
		Fjöldi síðna: 21
Höfundar: Svanur Pálsson Guðmundur H. Vigfússon	Verkefnisstjóri: Árni Snorrason	
Gerð skýrslu / Verkstig: Gagnaskýrsla	Verknúmer: 546 500	
Unnið fyrir: Auðlindadeild Orkustofnunar		
Samvinnuaðilar:		
<p>Útdráttur:</p> <p>Í skýrslunni er fjallað um framburð svifaurs í Hvítá í Borgarfirði, og er hún hliðstæð skýrslum Orkustofnunar um framburð í öðrum ám frá síðustu árum. Mælistaðurinn er Kljáfoss en þar er Hvítá lindá og jökulá með dragáreinkennum. Vatnasviðið við Kljáfoss er 1669 ferkm., þar af um 360 undir jöklum. Framburður svifaurs við Kljáfoss á tímabilinu 1952-96 reiknast að meðaltali 150-170 þúsund tonn á ári. Hann er tiltölulega jafndreifður á árið. Svifaurnn greinist þannig eftir kornastærð, að grófur aur (> 0,02 mm) er 67% og fínn (< 0,02 mm) er 33%. Nánari sundurgreining er þannig, að sandur (> 0,2 mm) er 19%, mór (0,2-0,02 mm) 48%, méla (0,02-0,002 mm) 29% og leir (< 0,002 mm) 4 %. Framburðurinn er um helmingi minni en í Skjálfandafjóti, en rennsli þess er svipað og rennsli Hvítár við Kljáfoss. Þær bera fram álfka mikið af fínnum svifaum, en munurinn liggar í grófa aurnum, einkum sandinum. Hafa ber í huga að hér er aðeins átt við framburð svifaurs, en til þess að fá nánari vitnesku um heildaraurburð þarf einnig að mæla botnskríð. Jafnframt þyrfti að taka svifaursssýni við hærra rennsli en sýni hafa áður verið tekin til þess að bæta svifaurslyklana, en þeir eru lélegir.</p>		
Lykilord: Hvítá í Borgarfirði, framburður, svifaur, sýnataka, lyklar, kornastærð	ISBN-númer:	
		Undirskrift verkefnisstjóra: <i>Árni Snorrason</i>
		Yfirfarið af: ÁSn, HT, HA, PI

ÁGRIP

Framburður svifaurs í Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss á tímabilinu 1952-96 reiknast að meðaltali 150-170 þúsund tonn á ári. Hann er tiltölulega jafndreifður á árið.

Svifaurinn greinist þannig eftir kornastærð, að grófur aur ($> 0,02$ mm) er 67% og fínn ($< 0,02$ mm) er 33%. Nánari sundurgreining er þannig, að sandur ($> 0,2$ mm) er 19%, mó� ($0,2-0,02$ mm) 48%, méla ($0,02-0,002$ mm) 29% og leir ($< 0,002$ mm) 4%.

Framburðurinn er um helmingi minni en í Skjálfandafljóti, en rennsli þess er svipað og rennsli Hvítár við Kljáfoss. Þær bera fram álíka mikið af fínum svifaur, en munurinn liggur í grófa aurnum, einkum sandinum.

Hafa verður í huga, að hér er aðeins átt við framburð svifaurs, en aurburður er bæði svifaur og botnskrið. Til þess að fá nánari vitneskju um heildaraurburð þarf að mæla botnskrið, en þær mælingar eru dýrar. Jafnframt þyrfti að taka svifaursssýni við hærra rennsli en sýni hafa áður verið tekin til þess að bæta svifaurslyklana, en þeir eru lélegir.

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	2
1. INNGANGUR	5
2. SÝNATAKA OG ÚRVINNSLA	8
2.1 Sýnategundir og kornastærðarflokkun	8
2.2 Svifaurslyklar	9
3. GAGNASÖFN	11
4. ÚTREIKNINGAR Á FRAMBURÐI SVIFAURS	13
4.1 Útreikningar á framburði eftir að lindavatn hefur verið dregið frá	16
5. NIÐURSTÖÐUR	20
6. HEIMILDIR	21

M Y N D A S K R Á

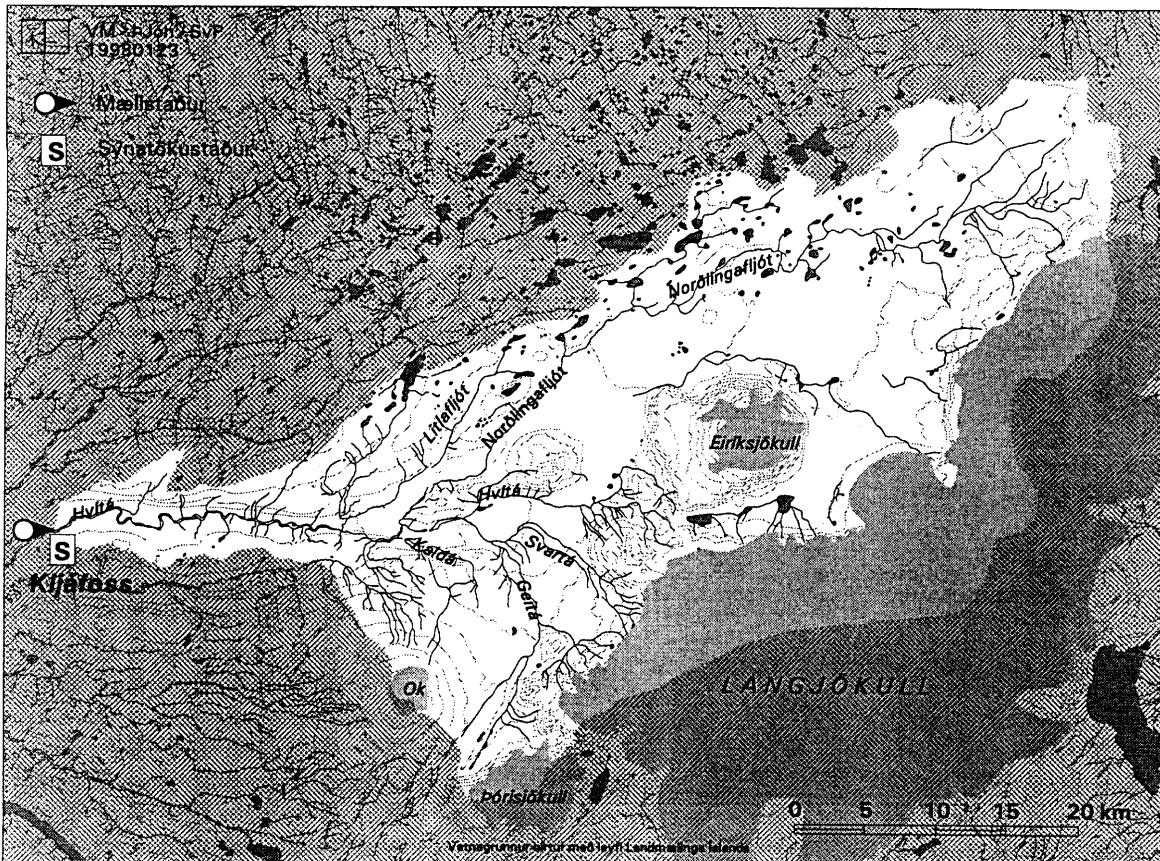
1.	Vatnafarskort af vatnasviði Hvítár í Borgarfirði við Kljáfoss	5
2.	Jarðfræðikort af vatnasviði Hvítár í Borgarfirði við Kljáfoss	6
3.	Árslykill fyrir heildarsvifaur í Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss 1965-1996	10
4.	Fjöldi S1- og S2-sýna úr Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss	11
5.	Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss, meðalrennsli ára	11
6.	Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss, mánaðarmeðalrennsli 1952-1996	12
7.	Langæi rennslis í Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss 1952-1996	12
8.	Framburður svifaurs í Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss 1952-96	14
9.	Hvítá við Kljáfoss, meðalframburður svifaurs eftir mánuðum 1952-96	14
10.	Hundraðshlutu svifaurs af einstökum kornastærðarflokkum samkvæmt árstíðalyklum	15
11.	Framburður svifaurs í Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss, þegar rennsli hafði verið lækkað um $30 \text{ m}^3/\text{s}$ og aurstyrkur hækkaður að sama skapi	18
12.	Framburður svifaurs í Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss samkvæmt árstíðalyklum reiknaður með báðum aðferðunum	18
13.	Hvítá við Kljáfoss, meðalframburður svifaurs í einstökum mánuðum 1952-96, þegar rennsli hafði verið lækkað um $30 \text{ m}^3/\text{s}$ og aurstyrkur hækkaður að sama skapi	19
14.	Hundraðshlutu kornastærðarflokka svifaurs í Hvítá í Borgarfirði 1952-96, Skjálfandafljóti 1950-95 og Jökulsá í Fljótsdal 1966-94	20

T Ö F L U S K R Á

1.	Kornastærðarflokkar svifaurs	9
2.	Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss, framburður svifaurs á ári 1952-96	13
3.	Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss, framburður svifaurs af einstökum kornastærðarflokkum	15
4.	Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss, svifaurslyklar	16
5.	Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss, framburður á ári, þegar rennsli hafði verið lækkað um $30 \text{ m}^3/\text{s}$ og aurstyrkur hækkaður að sama skapi	17

1. INNGANGUR

Skýrsla þessi fjallar um framburð svifaurs í Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss. Hún er hliðstæð skýrslum Orkustofnunar *Framburður svifaurs í Jökulsánum norðan Vatnajökuls*, OS-96024/VOD-02, eftir Hauk Tómasson, Svan Pálsson og Guðmund H. Vigfússon og *Framburður svifaurs í Skjálfandafljóti*, OS-97056, eftir Svan Pálsson og Guðmund H. Vigfússon.

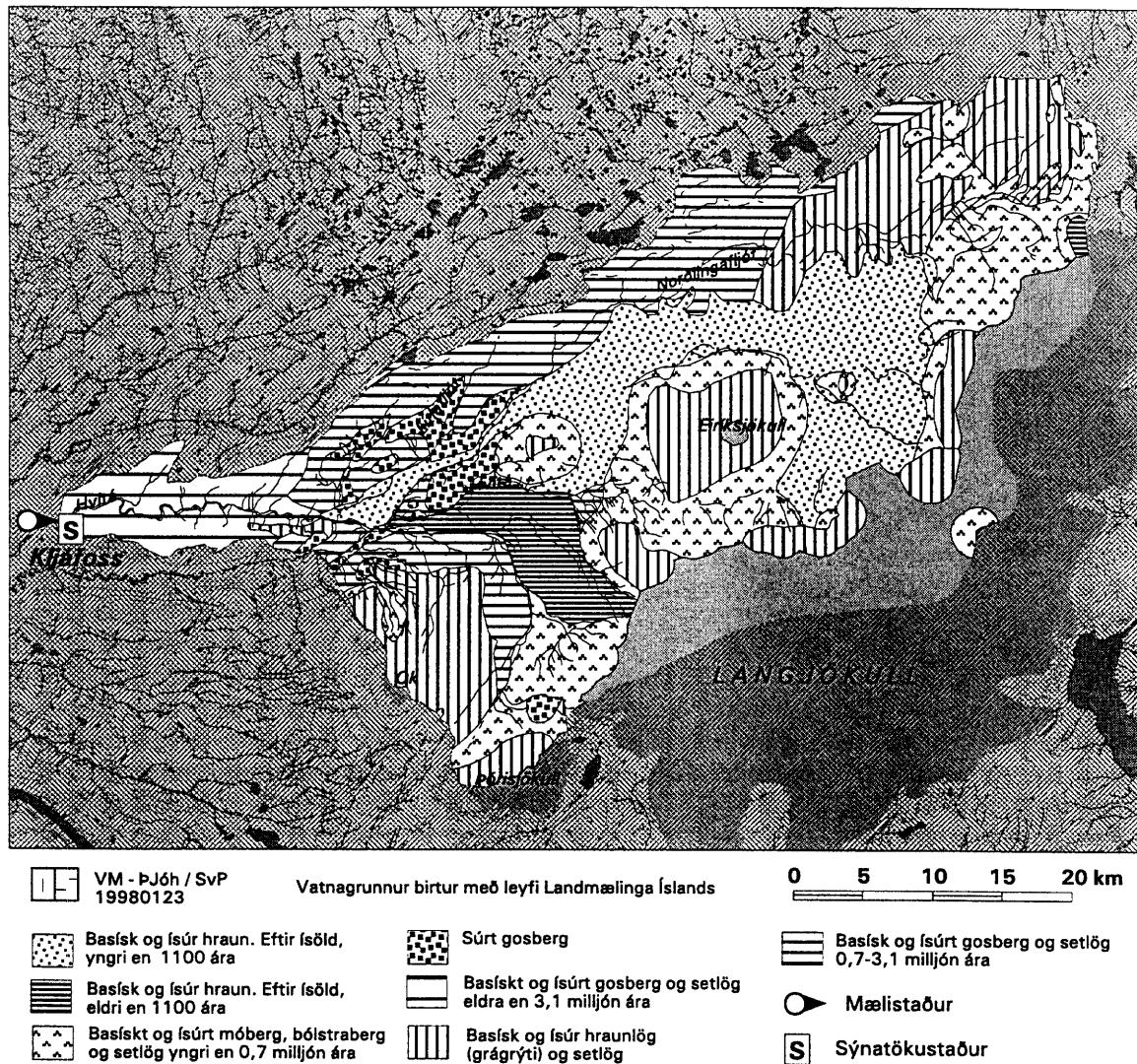


MYND 1. Vatnafarskort af vatnasviði Hvítár í Borgarfirði við Kljáfoss.

Hvítá við Kljáfoss er lindá og jökulá með dragáreinkennum. Vatnasvið hennar við Kljáfoss er 1669 km², þar af eru um 360 km² undir jöklum. Mynd 1 er vatnafarskort af vatnasviði Hvítár ofan Kljáfoss. Vatnasviðið er haft ljósara en umhverfið og sá hluti þess, sem er undir jöklum, með ljósari skyggingu. Kortið er byggt á vatnagrunni Landmælinga Íslands, en útfært nánar af Þórarni Jóhannssyni. Athyglisvert er, að margar kvíslar frá norðvestanverðum Langjöklum eða undirhlíðum hans ná ekki að renna á yfirborði alla leið til Hvítár eða þverá hennar, heldur hverfa niður í hraun eða önnur gropin jarðlöög, enda er mjög verulegur hluti vatnasviðsins þakinn hraunum, sem hafa runnið eftir ísöld, sjá mynd 2. Vatnið berst síðan sem lindavatn til Hvítár, en jökulaurinn situr eftir.

Mynd 2 er jarðfræðikort af vatnasviði Hvítár gert af Hauki Jóhannessyni og Kristjáni Sæmundssyni, en útfært nánar af Þórarni Jóhannssyni. Aðeins lítill hluti yfirborðs vatnasviðsins er úr bergi frá því fyrir ísöld og það er neðsli hluti þess, næst Kljáfossi. Aðrir hlutir vatnasviðsins eru frá ísöld og nútíma, meiri hlutinn yngri en 700 þúsund ára. Þetta er ástæðan fyrir hinum mikla linda-

vatnsþætti Hvítár og því, að áin ber ekki meira fram af jökulaur miðað við stærð vatnasviðs undir jöкли en raun ber vitni. Við Kljáfoss er Hvítá skilgreind sem lindá og jökulá með dragáreinkennum, eins og áður hefur komið fram, en dragárpátturinn eykst neðar á vatnasviðinu, þar sem berggrunnurinn er eldri.



MYND 2. Jarðfræðikort af vatnasviði Hvítár í Borgarfirði við Kljáfoss.

Ástæðan fyrir því, að verið er að mæla svifaur í Hvítá í Borgarfirði, er sú, að verði áin virkjuð til raforkuframleiðslu þarf að gera inntakslón. Aurburður kæmi til með að setjast til í lóninu og fylla það með tímanum. Nauðsynlegt er að gera sér grein fyrir, hve lengi það yrði að fyllast. Einnig veldur aurburður sliti á vatnsvélum og er mikilvægt að gera sér grein fyrir hvers megi vænta í því efni, áður en ráðist er í virkjun.

Aurburður er bæði svifaur og botnskrið. Gert hefur verið ráð fyrir, að mikill meirihluti aursins berist fram sem svifaur og hefur kröftunum því verið beint að því að mæla hann, enda eru mælingar á botnskriði miklu dýrari, torveldari í framkvæmd og ónákvæmari en mælingar á svifaur. Raunar hefur botnskrið tvisvar verið mælt í Hvítá og þá við Þorgautsstaði. Þá reyndist það svara

til um 80% af svifaursframburði þar, en þegar það er borið er saman við svifaursframburð við Kljáfoss um líkt leyti, reyndist samanlagður framburður svifaurs og botnskriðs við Þorgautsstaði í annað skiptið svipaður og í hitt skiptið miklu minni en svifaursframburður við Kljáfoss. Það bendir til þess, að aurinn sé miklu betur upphrærður við Kljáfoss en Þorgautsstaði og að við Kljáfoss sé botnskrið óverulegt í samanburði við svifaurs. Langmestur hluti botnskriðsins, sem mældist við Þorgautsstaði, var af sandkornastærð (0,2 - 2 mm), en það er háð straumhraða, hvort aur af þeirri kornastærð berst fram sem botnskrið eða svifaurs. Vert er að hafa í huga, að ekki má draga af miklar ályktanir af tveimur mælingum á botnskriði. Áfomað er að fjalla um mælingar á botnskriði í ýmsum ám í annarri skýrslu síðar.

Sýni af svifaurs hafa verið tekin úr Hvítá á nokkrum stöðum, en langflest við Kljáfoss, og er eingöngu byggt á sýnum þaðan í þeim útreikningum, sem fjallað er um í þessari skýrslu. Sýnataka hófst þar árið 1965. Hún var stopul í fyrstu, en árlega voru tekin sýni frá 1974 til 1996. Síðan 1996 hafa engin sýni verið tekin vegna niðurskurðar í fjárveitingum. Þó er gert ráð fyrir, að sýni verði tekin í flóðum.

Við Kljáfoss er rennslismælistöð. Þar hófst álestur á kvarða 1. júlí 1951. Var lesið á hann tvisvar í viku, en aukaálestrar við snöggar rennslisbreytingar. Það fyrirkomulag hélst til 1. nóvember 1963, er síriti var tekinn í notkun.

Þó að gögn um svifaursmælingar nái aðeins yfir u. þ. b. aldarfjórðung, eru þau notuð til að reikna framburð allan þann tíma, sem rennslisgögn fyrir heil ár ná yfir. Það er gert í trausti þess, að ekki er vitað um neina þá atburði á vatnasviðinu, svo sem framhlaup í jöklum, sem leitt hafi til breytinga á aðgengi árinnar að aur af svifaurskornastærð.

Við söfnun svifaursssýnanna hafa margir starfað. Svanur Pálsson hefur mælt aurinn í sýnunum. Hann hefur einnig annast meðhöndlun gagnanna í tölvu ásamt Guðmundi H. Vigfússyni, sem hefur gert flest forritin fyrir gagnavinnsluna. Gögn um rennsli eru úr gagnabanka Vatnamælinga. Haukur Tómasson hefur haft umsjón með verkinu.

2. SÝNATAKA OG ÚRVINNSLA

2.1 Sýnategundir og kornastærðarflokkun

Sýnin, sem hér er byggt á, eru af tegundunum S1 og S2 aðallega þó S2. Til glöggvunar er gefið almennt yfirlit yfir allar sýnategundirnar, en sýnin eru flokuð út frá sýnatökuaðferðum.

F-sýni, sem tekin eru í flöskur án þess að sýnataki sé notaður. Þau eru næra alltaf tekin á einum stað nærrí örðrum árbakkanum.

S-sýni. Þau eru tekin í rúmlega 400 ml flöskur, sem falla í þar til gerða sýnataka. Árvatnið streymir inn í flöskuna um stút framan á sýnatakanum, en loftið, sem fyrir er í flöskunni, sogast út um hlið sýnatakans og truflar því ekki innstreymið. Sogið myndast við vatnsstreymið fram hjá útstreymisopinu fyrir loftið. Sýnatakinn með flöskunni er láttinn síga niður í ána og er dreginn upp og niður með jöfnum hraða. Þannig fæst sýni af árvatni frá yfirborði og niður undir botn. Tvær gerðir sýnataka eru notaðar. Sá minni, handsýnatakinn DH48, er festur á stangar- eða rörenda og dýft niður í ána með höndum. Stærri sýnatakinn, S49, er festur í spil, sem nú er véldrifið, en var áður handdrifið.

S-sýnum er skipt í 3 undirtegundir, sem eru auðkenndar S1, S2 og S3.

S1 eru tekin á nokkrum, venjulega 3-5 stöðum á þversniði árinnar. Þetta er sú sýnategund, sem byggt er á í útreikningunum í þessari skýrslu, eins og áður hefur verið getið, og hér hafa þau alltaf verið tekin í stærri sýnatakann, S49.

S2 eru langoftast tekin á einum stað á þversniðinu, stöku sinnum á tveimur stöðum. Þeim er safn-að í stærri sýnatakann og eru sambærileg við S1, nema þau eru tekin á færri stöðum á þversniðinu.

S3 eru tekin við bakka árinnar, oftast aðeins annan, og eru alltaf tekin í handsýnataka, DH48.

Þessi flokkun byggist á tökuaðferðum, en einnig má líta á hana sem gæðaflokkun.

F-sýnin eru aðeins tekin, þegar sýnatakar eru ekki tiltækir. Þau voru tekin, áður en sýnatakarnir komu og á meðan þeir voru aðeins örfáir. Síðustu 25-30 árin hafa aðeins örfá F-sýni verið tekin. Líta verður svo á, að F-sýnin séu lakasti flokkurinn. Þau ættu að gefa viðunandi mynd af fína aurnum, en eru mjög óáreiðanleg að því er varðar grófasta hluta svifaursins. Þar kemur til, að þau eru tekin uppi við árbakka, svo að flaskan kemst hvorki út í aðalstrauminn né á nægilegt dýpi, til að sýnið sé nægilega einkennandi fyrir grófa svifaurinn. Innstreymi vatnsins í flöskuna truflast af því, að flaskan snýr skakkt við straumstefnunni, myndar oftast um 90° horn við hana, en þyrfti að snúa samsíða straumstefnunni. Af þessum sökum verður vatnið, sem streymir inn í flöskuna, að breyta um stefnu við stútinn. Einnig verður truflun af loftinu, sem er að streyma út úr flöskunni, en það vandamál er leyst í sýnatökunum, eins og minnst er á hér að framan.

S1-sýnin verða að teljast bestu sýnin, en S2-sýnin, sem eru tekin, þar sem straumharðar ár renna þróngt, ættu að nálgast þau að gæðum. Sýnatoku á nokkrum stöðum á þversniðinu (S1) verður þar trauðla við komið, því að sýnatakinn leitar út í aðalstrenginn.

S3-sýnin eru til muna ótrúverðugri en S1- og S2-sýnin. Þar er um að ræða sams konar vandamál vegna staðsetningar uppi við bakka og hjá F-sýnunum. Þau hafa það þó fram yfir F-sýnin, að hvorki verður stefnubreyting við innstreymið í flöskuna né truflun af útstreymi lofts. Þeim ætti að mega treysta að því er varðar fínan aur, en yfirleitt mælist minna af grófum aur í þeim en S1- og S2-sýnum, sem tekin eru á sama tíma, stundum miklu minna.

Við mælingar á svifaur er litið á innihald flasknanna frá öllum stöðum á þversniðinu sem eitt sýni og það mælt í einu lagi. Heildarstyrkur svifaursins er mældur og fundin kornastærðardreifing. Gerður er kornastærðarferill fyrir hvert sýni. Í gagnasafninu og í skýrslum, sem gefnar hafa verið

út um svifaur, er kornastærðarferli hvers sýnis skipt í fjóra flokka samkvæmt kornastærðarkvarða Atterbergs, sjá töflu 1. Efri mörk sands eru í töflunni sett við 2,0 mm, eins og vera ber samkvæmt kvarðanum, en óverulegur hluti svifaursins tilheyrir raunar næsta kornastærðarflokki fyrir ofan, möl. Í úrvinnslu er mölin talin með sandinum.

TAFLA 1. Kornastærðarflokkar svifaurs.

Grófur aur	Sandur	2,0-0,2	mm
	Mór	0,2-0,02	"
Fínn aur	Méla	0,02-0,002	"
	Leir	< 0,002	"

Sandur og mór (> 0,02 mm) telst grófur svifaur, en méla og leir (< 0,02 mm) finn. Grófi aurinn er miklu viðkvæmari fyrir mismunandi sýnatökuaðferðum og aðstæðum á sýnatökustað en sá finni. Sandurinn berst sem botnskrið á einum stað í ánni, en sem svifaur á öðrum og er það háð straumhraða. Nær ekkert mælist af grófari svifaur en sandi, en það litla, sem mælist, er hér talið með sandinum. Svo grófur aur berst nær einvörðingu sem botnskrið, en sennilega í tiltölulega litlum mæli.

2.2 Svifaurslyklar

Til þess að reikna hve mikið berst fram af svifaur á sýnatökustað á tilteknu tímabili eru búin til svokallaðir svifaurslyklar, þ. e. fundið sambandið milli rennslis og svifaurs. Lykillinn er á eftirfarandi formi, þar sem q_s er svifaur í kg/s, k er fasti og Q er rennsli í m³/s:

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

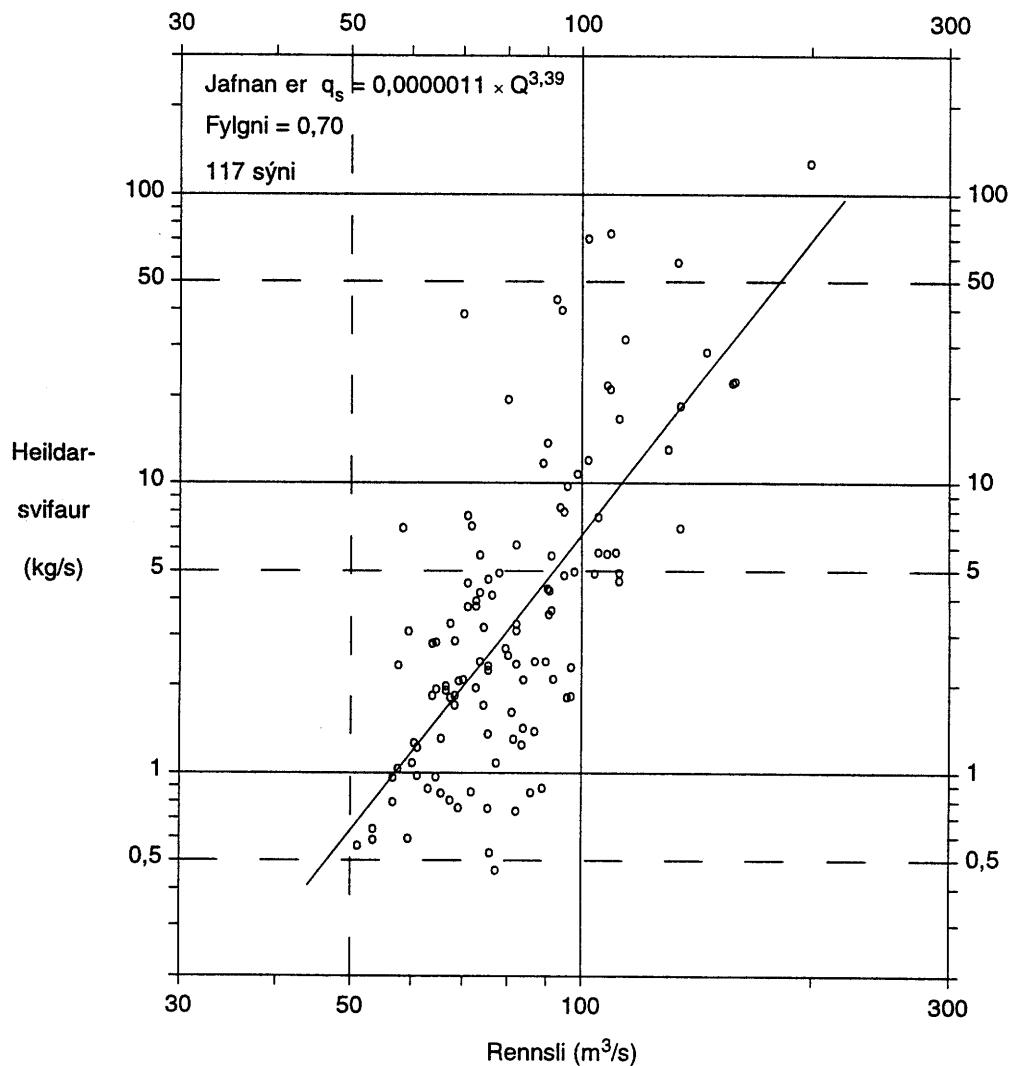
Við útreikningana, sem fjallað er um í skýrslunni, voru notaðir allmargir lyklar. Helstu einkennisþættir þeirra, þar á meðal fastinn, eru birtir í töflum. Til þess að auðvelda samanburð milli fasta einstakra lykla eru þeir birtir í töflunum margfaldaðir með 10⁶. Í stað þess t. d. að skrifa fastann 1,48E-04 er hann hér skrifaður 148. Með þessu móti losnar lesandinn við að bera saman tölur, sem þarf að margfalda með 10 í ýmsum mismunandi veldum.

Þegar gæði lykla eru metin, þarf að hafa eftirtalin atriði í huga:

- Lyklar eru almennt því betri sem sýnin, sem þeir byggjast á, eru fleiri. Annars er haett við, að sýnin séu ekki nægilega marktækt úrtak. Samband rennslis og svifaurs er í rauninni tölувert breytilegt, því að margs konar ytri skilyrði önnur en rennsli hafa áhrif á aurinn. Sýnin þurfa m. a. helst að dreifast sem jafnast yfir árið, sérstaklega þann hluta ársins, sem framburður aurs er mestur. Sýnin ættu varla að vera færri en sjö, ef nota á þau til ályktunar, en þá þurfa skilyrðin, sem talin eru hér á eftir, að vera vel uppfyllt.
- Best er, að sýnin hafi verið tekin á breiðu rennslisibili, helst allt frá því að vera nærrí hæsta dagsmeðalrennslí tímabilsins, sem lykillinn gildir fyrir, niður í nokkuð lágt rennsli. Ennfremur er æskilegt, að sýnin dreifist sem jafnast á rennsli.
- Fylgnin þarf að vera sem hæst. Hún telst góð, ef hún er 0,90 eða hærri, mjög góð, ef hún er 0,95 eða hærri, en léleg, ef hún er undir 0,80.
- Lyklar með veldisvísi hærri en 3 eru varasamir, þeim hættir til að gefa of mikinn aur við hænnslu og of líttin við lágrennslu. Algengt er, að veldisvísin sé nálægt 2 í góðum lyklum. Trúverðugir veldisvísar eru á bilinu 1,5-3,0.
- Óheppilegt er, að einstakir punktar skeri sig mjög úr, sérstaklega þegar lykillinn byggist á fáum sýnum. Slíkum punktum gæti verið rétt að sleppa í sumum tilfellum.

Lyklarnir eru notaðir til að reikna svifaurninn dag fyrir dag frá meðalrennsli dagsins. Þannig á að vera unnt að reikna svifaur, sem berst fram á einu ári eða nokkurra ára tímabili, ef lyklarnir eru nægilega góðir og upplýsingar liggja fyrir um dagsmeðalrennsli. Lyklar, sem byggðir eru á sýnum frá öllum árstínum, eru kallaðir *árslyklar*. Ef sýnafjöldi leyfir, er sýnunum skipt niður í árstíðir og reiknaðir sérstakir lyklar, svokallaðir *árstíðalyklar*, fyrir hvora eða hverja árstíð um sig.

Mynd 3 sýnir svifaurslykil byggðan á allmögum sýnum. Hann hefur lélega fylgni og tortryggi-lega háan veldisvísi, enda má sjá, að gildin eru mjög dreifð. Þessi lykill verður að teljast lélegur.



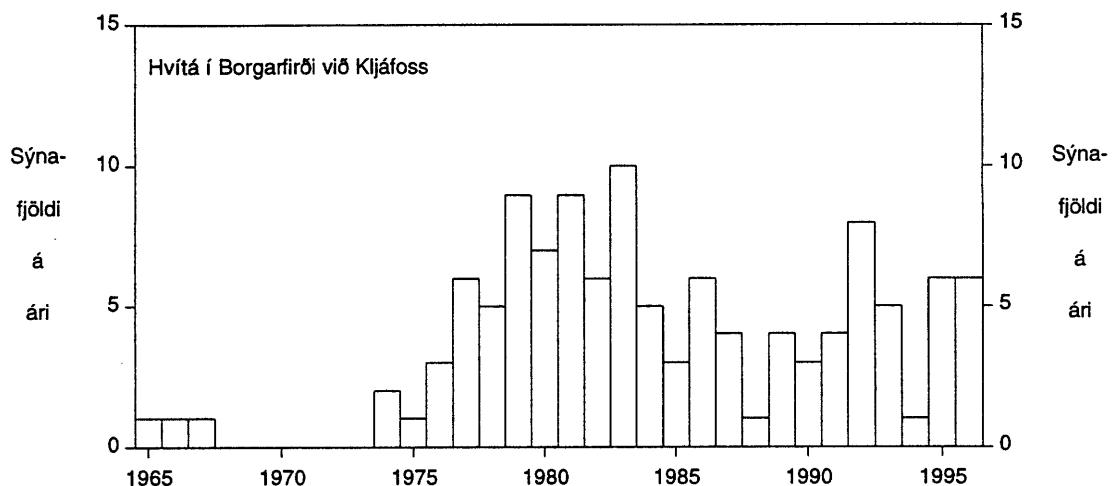
MYND 3. Árslykill fyrir heildarsvifaur í Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss 1965-1996.

Svifaurslyklar voru fyrst notaðir við útreikninga á framburði í íslenskum ám árið 1968 (sjá Haukur Tómasson og Svanur Pálsson 1968), en Helgi Sigvaldason verkfræðingur annaðist þá reikninga. Á árunum 1983-84 reiknuðu Guðmundur H. Vigfússon og Örn Jónsson framburð flestra þeirra vatnsfalla, sem svifaursmælingar ná til (sjá Haukur Tómasson 1990 og Haukur Tómasson og Svanur Pálsson 1990). Loks má nefna skýrslur Orkustofnunar, frá 1996 og 1997 og getið er um hér í inngangi, en þar var staðið að útreikningum á framburði á hliðstæðan hátt og hér er gert.

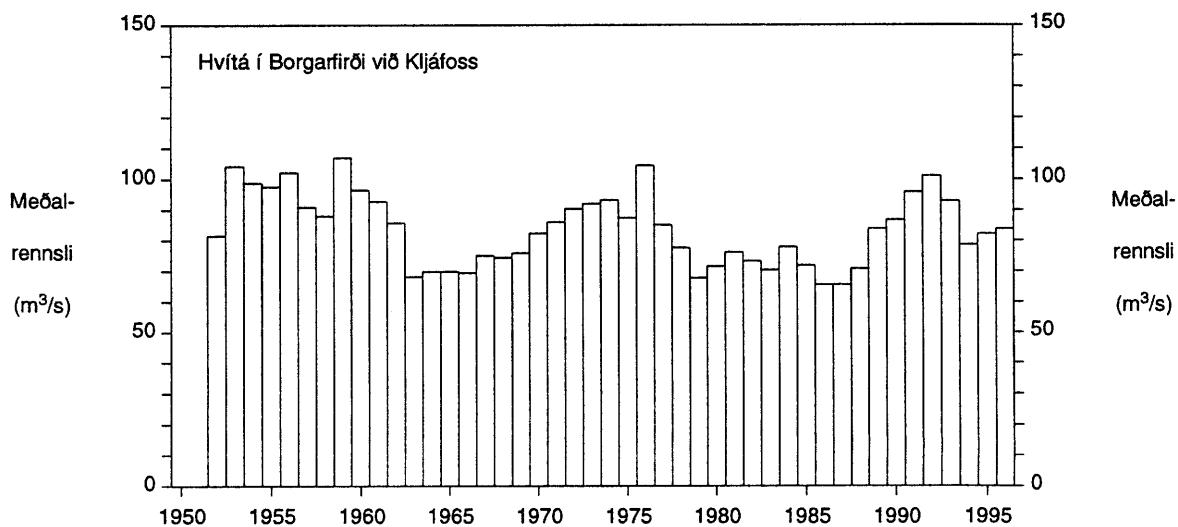
3. GAGNASÖFN

Til þess að reikna út framburð svifaurs þarf tvö gagnasöfn, sem bæði tengjast sama staðnum. Annað gagnasafnið er safn mæligilda svifaurssýna, sem tekin hafa verið við sem breytilegast rennsli, ásamt gildum yfir augnablikssrennsli, þegar sýnin voru tekin. Á þessu gagnasafni eru svifaurslyklarnir byggðir, sjá kaflann um svifaurslykla hér að framan. Hitt gagnasafnið er skrá Vatnamælinga yfir meðalrennsli einstakra sólarhringa (dagsmeðalrennsli) á því tímabili, sem framburðurinn er reiknaður fyrir.

Úr Hvítá í Borgarfirði hafa sýni til mælinga á svifaur langflest verið tekin við Kljáfoss og þar er jafnframta rennsismælistöð. Alls hafa verið tekin þar 129 sýni, en þar af eru 12 S3-sýni, sem eru talin of léleg til þess að á þau verði treyst í þessum útreikningum. Hin 117 sýnin eru flest S2-sýni. Á mynd 4 er sýnt, hvernig sýnatakan við Kljáfoss dreifist í tíma, og eru þá eingöngu talin S1- og S2-sýni, þ.e. sýnin, sem lögð eru til grundvallar útreikningum á framburði.



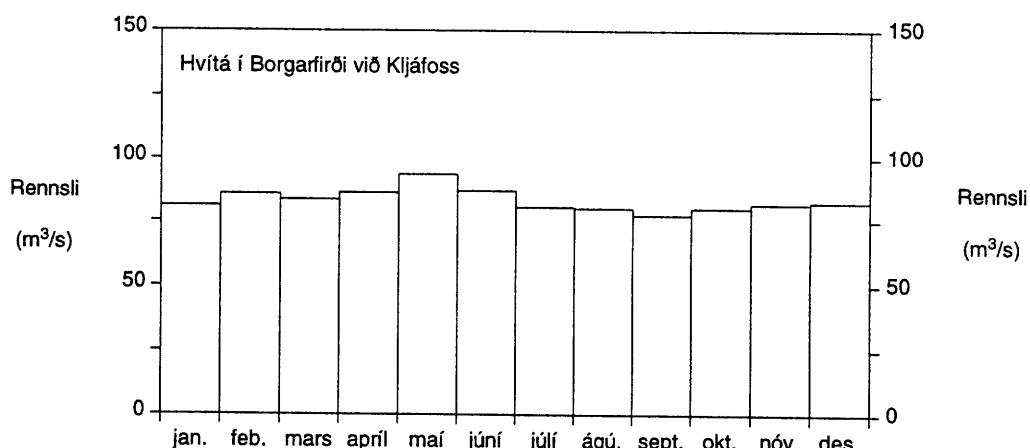
MYND 4. Fjöldi S1- og S2-sýna úr Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss.



MYND 5. Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss, meðalrennsli ára.

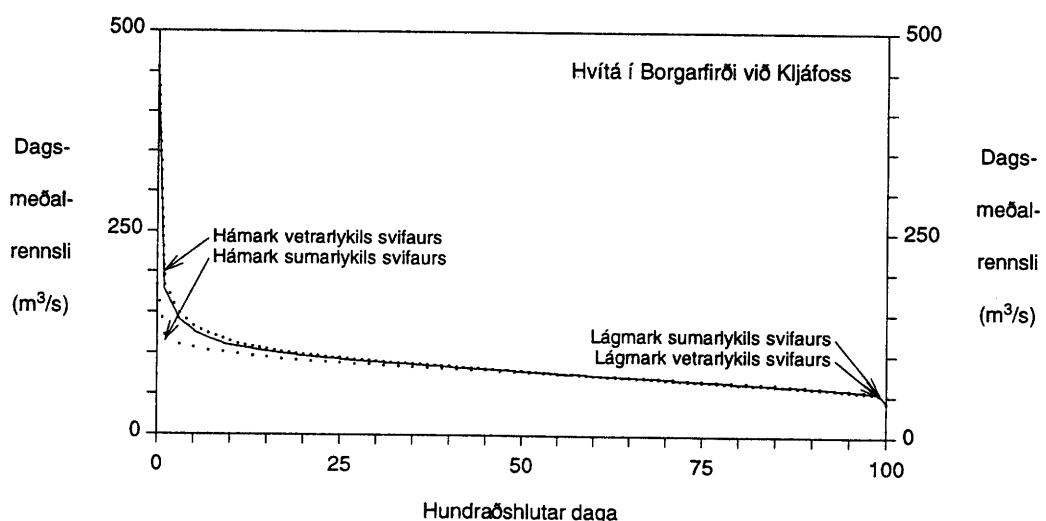
Á mynd 5 er sýnt meðalrennsli einstakra ára á tímabilinu 1952-96. Greinilegt er, að flest sýnin hafa verið tekin á lágrennslistímabili.

Á mynd 6 er sýnt mánaðarmeðalrennsli Hvítár við Kljáfoss á tímabilinu 1952-96. Þar kemur skýrt fram, að breytileiki eftir árstíðum er mjög líttill, en það stafar af miklu lindarennslu. Rennslið er mest á vorin vegna snjóleysinga, en áhrif jökulleysinga eru lítil.



MYND 6. Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss, mánaðarmeðalrennsli 1952-1996.

Á mynd 7 er sýnt langæi dagsmeðalrennslis í Hvítá við Kljáfoss. Rennslið er tiltölulega jafnt, fer aldrei niður fyrir $50 \text{ m}^3/\text{s}$, enda gætir lindarennslis mikið. Einnig er líttill munur á langæi rennslis að sumri og vetri. Myndin sýnir líka, að rennslið getur orðið mjög mikið, farið langt upp fyrir hæstu rennslisgildi svifaurslyklanna, en það er aðeins í mjög stuttan tíma



Heildreginn ferill: Allt árið. Gisnir punktar: Sumar (júlí-september). Þéttir punktar: Vetur (október-júní).

MYND 7. Langæi rennslis í Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss 1952-1996.

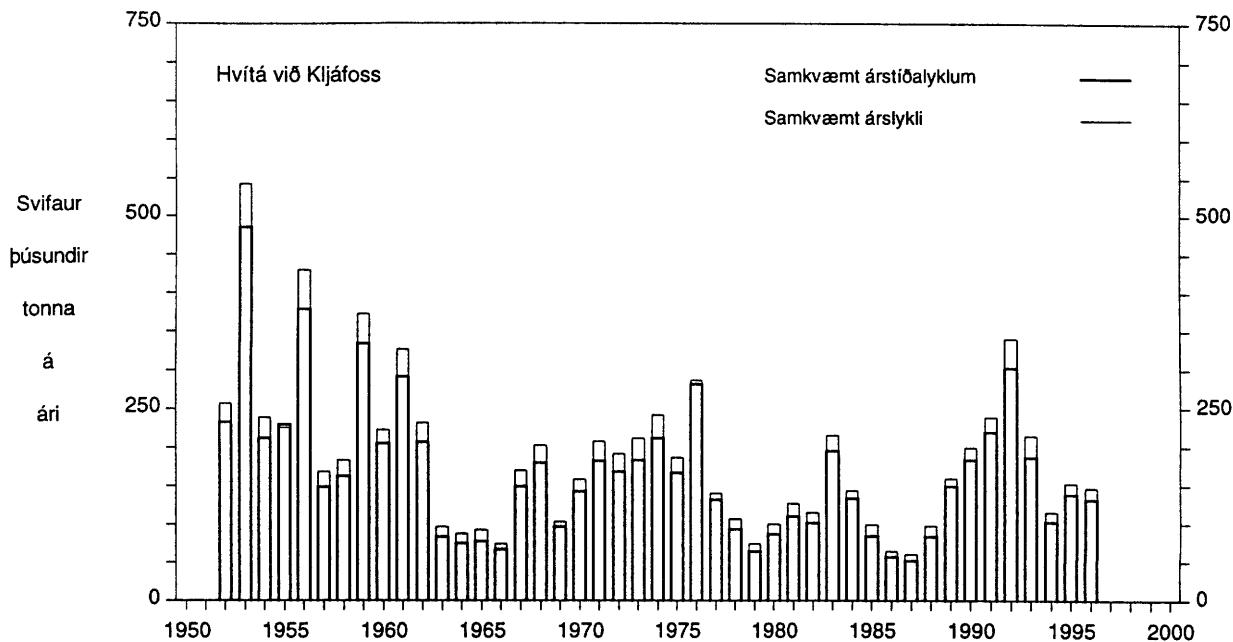
Hér á eftir verður gerð grein fyrir útreikningum á framburði. Þó að svifaursgögnin séu nær öll frá síðasta aldarfjórðungi, er framburður reiknaður fyrir öll heil ár, sem gögn um dagsmeðalrennslu ná yfir. Það er gert í trausti þess, að ekki er vitað um neina þá atburði á vatnasviðinu, sem leitt hafi til breytinga á aðgengi árinnar að aur af svifaurskornastærð svo sem framhlaup í jöklum.

4. ÚTREIKNINGAR Á FRAMBURÐI SVIFAURS

Niðurstöður útreikninga á framburði bæði samkvæmt árstíðalyklum og árslyklum eru sýndar í töflu 2 og á mynd 8. Hér er gengið út frá þeirri árstíðaskiptingu, að mánuðirnir júlí-september eru skilgreindir sem sumar og október-júní sem vetur. Fyrir þessari skiptingu eru þau rök, að þessa þjá sumarmánuði gætir áhrifa jökulleysingar á framburðinn, og á það einkum við fína svifaurinn.

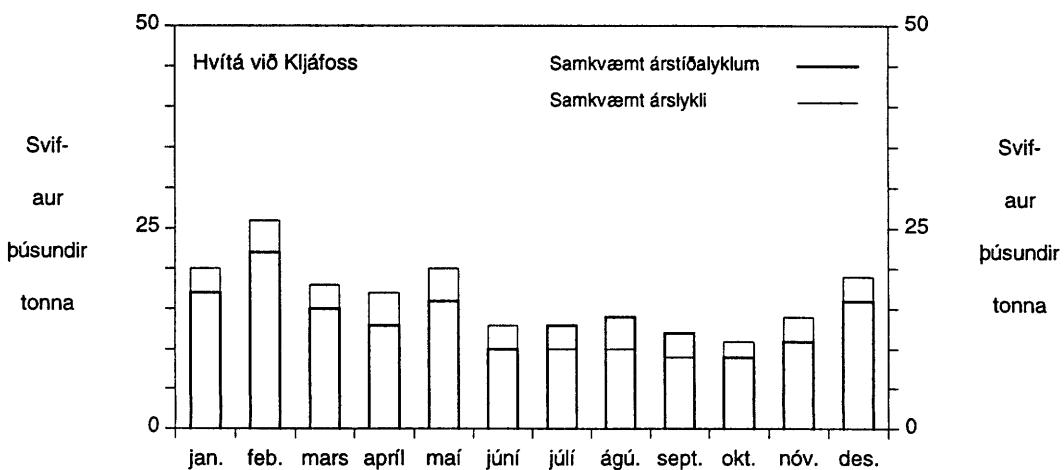
TAFLA 2. Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss, framburður svifaurs á ári 1952-96.

Ár	Dagsmeðalrennsli m ³ /s	Framburður svifaurs, þúsundir tonna			
		Sumar	Vetur	Sumar + vetur	Samkvæmt árslykli
1952	81,3	29	203	232	256
1953	104,1	50	435	485	542
1954	98,7	51	160	211	238
1955	97,3	117	112	229	225
1956	102,0	35	343	378	429
1957	90,7	42	106	148	168
1958	87,8	40	122	162	183
1959	106,7	68	266	334	372
1960	96,3	69	136	205	222
1961	92,7	35	256	291	326
1962	85,5	38	168	206	231
1963	67,8	14	69	83	96
1964	69,5	18	57	75	87
1965	69,5	13	64	77	92
1966	69,1	24	42	66	74
1967	74,6	19	130	149	170
1968	74,0	22	158	180	202
1969	75,4	38	58	96	103
1970	81,9	37	105	142	158
1971	85,8	31	151	182	207
1972	90,1	40	128	168	191
1973	91,9	36	147	183	211
1974	93,0	40	171	211	241
1975	87,2	41	125	166	186
1976	104,4	119	162	281	286
1977	84,9	54	77	131	140
1978	77,5	28	65	93	106
1979	67,6	17	47	64	74
1980	71,5	20	66	86	100
1981	75,9	27	83	110	126
1982	73,0	24	77	101	115
1983	70,2	19	176	195	215
1984	77,7	46	87	133	143
1985	71,5	15	69	84	99
1986	65,3	17	39	56	64
1987	65,3	14	37	51	60
1988	70,6	19	64	83	97
1989	83,6	55	94	149	159
1990	86,6	57	126	183	199
1991	95,8	66	153	219	238
1992	100,8	52	250	302	340
1993	92,7	37	149	186	214
1994	78,5	29	73	102	115
1995	82,0	41	97	138	152
1996	83,7	39	92	131	146
Meðaltal	83,4	39	129	168	187



MYND 8. Framburður svifaurs í Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss 1952-96.

Samkvæmt þessum útreikningum er framburður að meðaltali samkvæmt árstíðalyklum 168 þúsund tonn á ári, en 187 þúsund samkvæmt árslykli. Samkvæmt árstíðalyklum berast 23% fram í júlí-september og 77% í október-júní. Nær öll árin reiknast framburður samkvæmt árslykli meiri en samkvæmt árstíðalyklum. Það má skýra með því, að aurstyrkur er tiltölulega hærri að sumarlagi vegna áhrifa jökulleysingar, en rennslið verður mest í vetrar- og vorflóðum. Í árslyklinum hefur aurstyrkur sumarsýnanna þannig áhrif á útreikninga á framburði í flóðum að vetrar- og vorlagi, svo að framburður í þeim er ofreiknaður, en á móti kemur, að framburður er þá vanreknaður að sumarlagi. Mynd 9 staðfestir þessa skýringu. Að öðru jöfnu verður að líta svo á, að niðurstöður fengnar út frá árstíðalyklum séu trúverðugri.



MYND 9. Hvítá við Kljáfoss, meðalframburður svifaurs eftir mánuðum 1952-96.

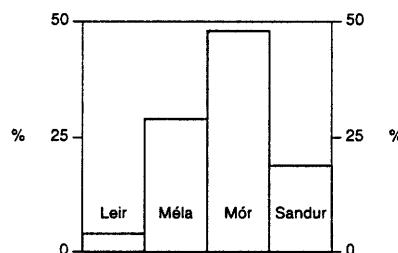
Á mynd 9 er sýndur meðalframburður svifaurs eftir mánuðum. Framburður er tiltölulega jafn allt árið, en reiknast þó mestur í febrúar og maí, þ.e. í vetrar- og vorflóðunum. Ef gengið er út frá því, að árstíðalyklarnir gefi réttari niðurstöður, kemur hér skýrt fram, að framburður samkvæmt árslykli er ofreiknaður á gildistíma vetrarlykilsins, en vanreiknaður á gildistíma sumarlykilsins, sbr. það, sem kemur fram hér framar.

Í töflu 3 eru niðurstöður útreikninga á framburði grófs og fíns svifaurs og framburði svifaurs af einstökum kornastærðarflokkum, bæði samkvæmt árstíða- og árslyklum. Summurnar fyrir grófan og fínan aur og einstaka kornastærðarflokka koma vel heim við meðaltölin í töflu 2, en eru heldur lægri.

TAFLA 3. Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss, framburður svifaurs af einstökum kornastærðarflokkum.
Svifaur í þúsundum tonna á ári að meðaltali 1952-96

	Framburður svifaurs, þúsundir tonna					
	Sumar	Vetur	Sumar + vetur	%	Samkvæmt árslykli	%
Grófur	22	88	110	67	114	63
Fínn	16	39	55	33	66	37
Alls	38	127	165	100	180	100
Sandur	6	24	30	19	30	17
Mór	13	63	76	48	85	47
Méla	13	33	46	29	57	32
Leir	2	4	6	4	7	4
Alls	34	124	158	100	179	100

Mynd 10 sýnir skiptingu framburðarins í kornastærðarflokkana fjóra. Þar kemur skýrt fram, að mór er nær helmingur framburðarins. Hlutföll kornastærðarflokksanna líkjast því, sem er í jökulám á móbergssvæðum eins og Jökulsá á Fjöllum, Kreppu og Jökulsá á Dal (Haukur Tómasson o. fl. 1996).



MYND 10. Hundraðshlutur svifaurs af einstökum kornastærðarflokkum samkvæmt árstíðalyklum.

Í töflu 4 eru helstu einkenni svifaurslyklanna, sem liggja að baki þessum útreikningum. Enginn þessara lykla getur talist góður og raunar nær enginn því að teljast sæmilegur. Veldisvísnar eru flestir yfir 3 og sumir jafnvel yfir 4. Aðeins tveir lyklar ná því að hafa sæmilega fylgni, þ.e. yfir 0,8, en þeir lyklar hafa háa veldisvísa. Þar við bætist, að í lyklana vantar hárennslisgildi, en það dregur úr trúverðugleika lykla, einkum þeirra, sem hafa háa veldisvísa.

Vegna þessara ággalla á lyklunum er mikil hætta á, að niðurstöður útreikninganna geti verið allfjarri raunveruleikanum. Einkum er hætt við, að of mikill framburður reiknist við hátt rennsli. Meginástæðan fyrir því, að lyklarnir eru lélegir er sú, að í ánni er mikill lindavatnsþáttur, enda hefur dagsmeðalrennsli árinnar við Kljáfoss ekki farið niður fyrir $50 \text{ m}^3/\text{s}$ þann tíma, sem mælingar ná yfir.

TAFLA 4. Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss, svifaurslyklar.

Lyklarnir eru á forminu $q_s = k \times Q^n$, q_s : svifausr (kg/s), k : fasti, Q : rennsli (m^3/s)

H. r. l.: hæsta rennsli lykils, L. r. l.: lægsta rennsli lykils, H. dmr.: hæsta dagsmeðalrennsli á gildistíma lykils

F. y. h. r. l.: hundraðshluti framburðar yfir hæsta rennsli lykilsins

Kornastærð	H. r. l. m^3/s	H. dmr. m^3/s	L. r. l. m^3/s	F. y. h. r. l. %	Sýna- fjöldi	Fylgni R	Fasti $k \times 10^6$	Veldisvísi n
Heildarsvifausr, árslykill	199	455	51,1	19,7	117	0,70	1,1	3,39
" sumarlykill	114	183	53,5	8,1	55	0,57	0,5	3,65
" vetrarlykill	199	455	51,1	25,8	62	0,85	0,5	3,52
Grófur svifausr, árslykill	199	455	51,1	22,4	117	0,67	0,3	3,54
" " sumarlykill	114	183	53,5	7,6	55	0,49	0,6	3,47
" " vetrarlykill	199	455	51,1	31,2	62	0,84	0,1	3,77
Fínn svifausr, árslykill	199	455	51,1	18,0	117	0,69	0,6	3,29
" " sumarlykill	114	183	53,5	9,8	55	0,68	0,02	4,15
" " vetrarlykill	199	455	51,1	20,4	62	0,78	0,6	3,23
Sandur, árslykill	199	455	51,1	7,6	117	0,46	19,8	2,40
" sumarlykill	114	183	53,5	3,6	55	0,22	553	1,66
" vetrarlykill	199	455	51,1	13,4	62	0,64	3,7	2,76
Mór, árslykill	199	455	51,1	39,3	117	0,74	0,006	4,29
" sumarlykill	114	183	53,5	12,3	55	0,64	0,001	4,75
" vetrarlykill	199	455	51,1	46,7	62	0,87	0,003	4,41
Méla, árslykill	199	455	51,1	23,7	117	0,70	0,1	3,61
" sumarlykill	114	183	53,5	11,6	55	0,71	0,002	4,59
" vetrarlykill	199	455	51,1	26,2	62	0,78	0,1	3,54
Leir, árslykill	199	455	51,1	10,6	117	0,43	1,0	2,73
" sumarlykill	114	183	53,5	7,6	55	0,44	0,05	3,49
" vetrarlykill	199	455	51,1	13,1	62	0,49	0,7	2,74

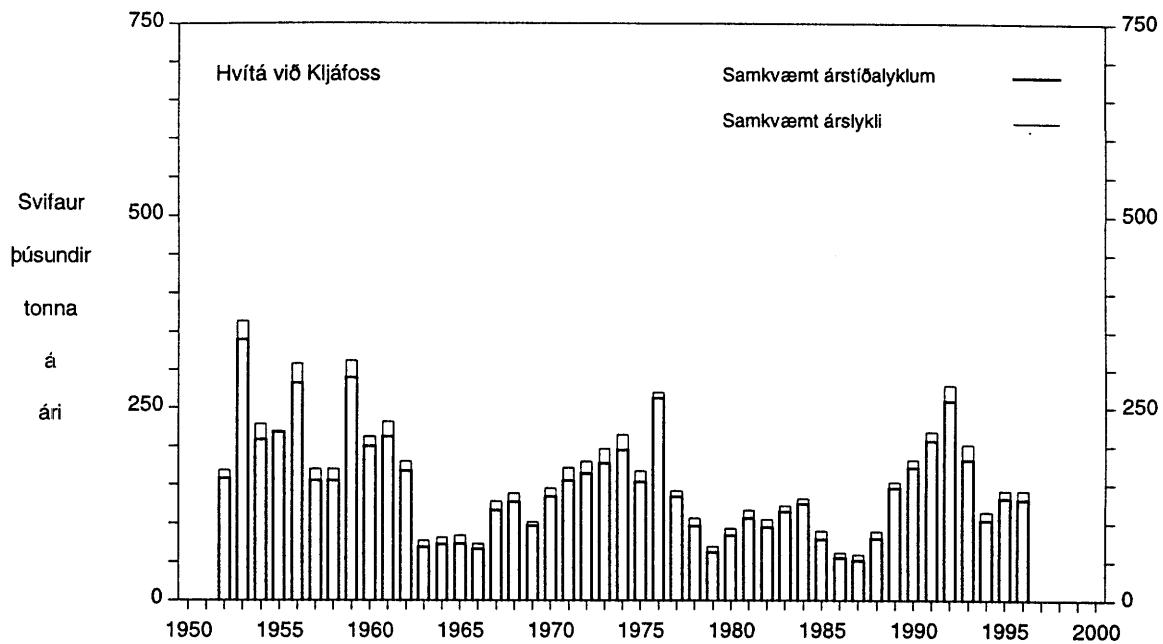
4.1 Útreikningar á framburði eftir að lindavatn hefur verið dregið frá

EKKI ER LJÓST, AÐ HVE MIKLU LEYTI MÁ TREYSTA NIÐURSTÖÐUM ÚTREIKNINGANNA, VEGNA ÞESS AÐ SVIFAURSLYKLARNIR ERU LÉLEGIR. Því ER FORVITNILEGT TIL SAMANBURÐAR AÐ REIKNA FRAMBURÐINN MEÐ ÞVÍ AÐ FAR AÐRA LEIÐ AÐ MARKINU, EN BYGGJA Á SÖMU GÖGNUM, ENDA EKKI ÖNNUR GÖGN AÐ HAFNA.

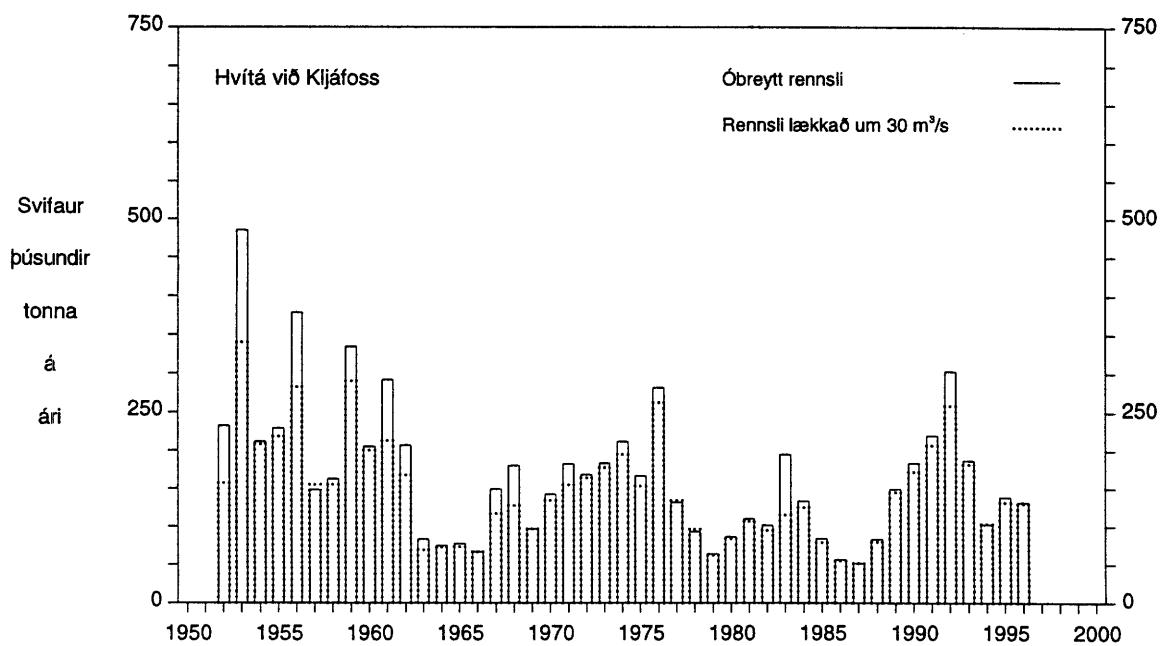
Það er algengt vandamál, að svifaurslyklar hafi lélega fylgni og háa veldisvísa, sem stafar af því, að án er samsett úr ólíkum vatnsfallategundum eða sýni tekin við hátt rennsli vantar í lykilinn. Vegna þess að lindavatnsþátturinn er hér tiltölulega mikill og stöðugur, er freistandi að draga hann eða hluta hans frá til þess að fá lykla, sem hafa ekki mjög háa veldisvísa. Mest af lindavatninu kemur í ána undan hraunum skammt fyrir ofan sýnatökustaðinn og gert er ráð fyrir, að það beri ekki með sér neinn svifausr. Dregnir voru $30 \text{ m}^3/\text{s}$ frá öllum rennslisgildum í rennslisgagnasafninu og í gagnasafni svifaurs og aurstyrkurinn hækkaður að sama skapi. Síðan voru gerðir svifaurslyklar fyrir heildarsvifausr byggðir á gagnasafni svifaurs þannig breyttu. Lyklarnir reyndust hafa veldisvísa á því bili, sem algengast er, að góðir svifaurslyklar hafi, en það var einmitt tilgangurinn með því að fara þessa leið. Fylgnin hafði aðeins versnað óverulega. Síðan var framburðurinn reiknaður fyrir sama tímabil (1952-96). Niðurstöður útreikninganna eru í töflu 5 og á mynd 11.

TAFLA 5. Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss, framburður á ári, þegar rennsli hafði verið lækkað um 30 m³/s og auststyrkur hækkaður að sama skapi.

Ár	Framburður svifaurs, þúsundir tonna			
	Sumar	Vetur	Sumar + vetur	Samkv. árslykli
1952	30	127	157	168
1953	49	291	340	364
1954	51	157	208	228
1955	102	116	218	219
1956	36	246	282	308
1957	43	112	155	170
1958	40	115	155	170
1959	65	225	290	312
1960	66	134	200	212
1961	36	176	212	231
1962	39	128	167	180
1963	14	55	69	77
1964	18	54	72	81
1965	13	60	73	84
1966	24	42	66	73
1967	19	97	116	128
1968	22	105	127	138
1969	38	58	96	101
1970	37	97	134	145
1971	31	124	155	171
1972	41	123	164	180
1973	37	140	177	196
1974	40	155	195	215
1975	41	112	153	167
1976	102	160	262	270
1977	53	81	134	141
1978	29	67	96	106
1979	17	45	62	70
1980	21	63	84	93
1981	28	78	106	116
1982	23	72	95	105
1983	20	95	115	122
1984	44	81	125	131
1985	15	64	79	90
1986	17	38	55	61
1987	14	37	51	59
1988	20	60	80	89
1989	53	92	145	152
1990	55	116	171	181
1991	64	142	206	218
1992	52	206	258	279
1993	38	143	181	201
1994	29	74	103	114
1995	41	90	131	141
1996	39	91	130	141
Meðaltal	38	110	148	160



MYND 11. Framburður svifaurs í Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss, þegar rennsli hafði verið lækkað um $30 \text{ m}^3/\text{s}$ og auststyrkur hækkaður að sama skapi.

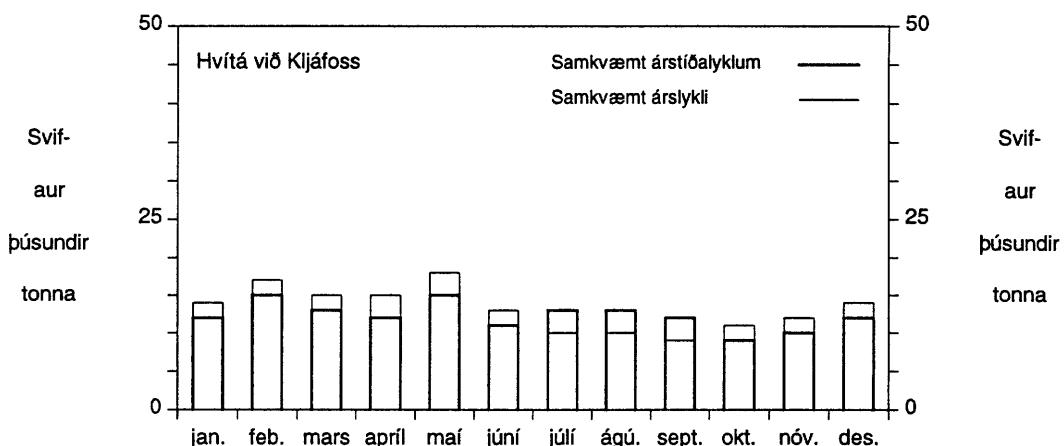


MYND 12. Framburður svifaurs í Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss samkvæmt árstíðalyklum reiknaður með báðum aðferðunum.

Framburðurinn reiknast talsvert minni en með fyrri aðferðinni, eins og við mátti búast, þegar veldisvísar lyklanna lækkuðu. Munurinn er nær allur á tímabili vetrarlyklanna, en þá verður rennslið hæst og áhrif hárra veldisvísa mest. Í fyrri útreikningum samkvæmt árstíðalyklum reiknaðist 77% framburðarins á tímabilinu október-júní, en samkvæmt seinni útreikningunum eru það 74%, sem verður að teljast óverulegur munur.

Fyrri aðferðin samkvæmt árstíðalyklum gefur að meðaltali 168 þúsund tonn á ári, en sú seinni 148 þúsund tonn á ári. Það, að munurinn skuli ekki vera meiri þrátt fyrir lélega lykla, bendir til þess, að niðurstöðurnar séu ekki mjög fjarri lagi.

Á mynd 12 eru bornar saman niðurstöður fengnar með báðum aðferðum og gengið út frá árstíðalyklum. Flest árin reiknast framburðurinn nánast jafnmikill með báðum aðferðunum, en í sumum árum, einkum framan af tímabilinu, reiknast hann verulega meiri með fyrri aðferðinni, og er greinilegt, að þar liggar munurinn á meðaltölunum fyrir allt tímabilið. Athugun á rennslisögnum leiddi í ljós, að þessi ár hefur rennslið orðið óvenjulega mikið í nokkra daga, en þá leiðir hár veldisvísi í lykli til þess, að framburðurinn reiknast mikill, meiri en trúverðugt er.



MYND 13. Hvítá við Kljáfoss, meðalframburður svifaurs í einstökum mánuðum 1952-96, þegar rennsli hafði verið lækkað um $30 \text{ m}^3/\text{s}$ og aurstyrkur hækkaður að sama skapi.

Á mynd 13 er sýndur meðalframburður eftir mánuðum reiknaður með seinni aðferðinni. Aðalmunurinn á henni og mynd 9 er sá, að hæstu súlurnar eru lægri á mynd 13, seinni aðferðin leiðir til útjöfnunar.

Hér eru sýndir lyklarnir þrír, sem notaðir voru til að reikna út framburðinn með seinni aðferðinni:

$$\begin{aligned}
 \text{Árslykill: } q_s &= 0,000755 \times Q^{2,15} & \text{Fylgni} &= 0,70 \\
 \text{Sumarlykill: } q_s &= 0,000898 \times Q^{2,17} & \text{Fylgni} &= 0,56 \\
 \text{Vetrarlykill: } q_s &= 0,000372 \times Q^{2,27} & \text{Fylgni} &= 0,84
 \end{aligned}$$

Veldisvísarnir eru á því bili, sem algengt er, þegar lyklar eru taldir góðir, en fylgnin er nær óbreytt frá hliðstæðum lyklum, sem notaðir voru í fyrri útreikningunum, sjá töflu 4. Fylgni vetrarlykilsins telst sæmileg, svo að sá lykill verður að teljast mjög sæmilegur, en hinir verða að teljast lélegir vegna lélegrar fylgni.

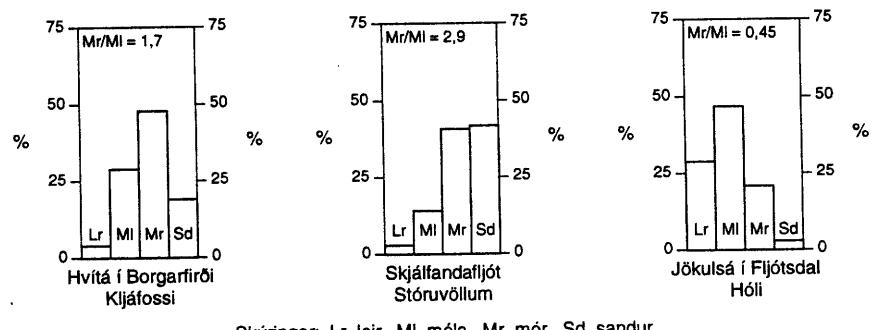
5. NIÐURSTÖÐUR

Meðalframburður svifaurs í Hvítá í Borgarfirði við Kljáfoss á tímabilinu 1952-96 reiknast um 190 þúsund tonn á ári samkvæmt árslykli, en um 170 þúsund tonn, ef byggð er á tveimur svifaurslyklum, öðrum fyrir júlí-september og hinum fyrir október-júní (árstíðalyklum). Telja verður seinni töluna trúverðugri.

Þar sem svifaurslyklarnir eru lélegir, var prófað til samanburðar að lækka öll rennslisgildi bæði í gagnasafni dagsmeðalrennslis og svifaurs um $30 \text{ m}^3/\text{s}$, þ. e. um þorra lindavatnsins. Jafnframt voru gildi aurstyrks í gagnasafni svifaurs hækkuð að sama skapi. Þá fengust skárti svifaurslyklar. Framburður reiknaður út frá gögnunum þannig breyttum var um 160 þúsund tonn á ári samkvæmt árslykli og 150 þúsund tonn samkvæmt árstíðalyklum.

Líklegast verður að telja, að framburður svifaurs sé á bilinu 150-170 þúsund á ári. Aurinn skiptist þannig eftir kornastærðum, að grófur svifaur er 67% og finn 33%. Nánari sundurgreining er þannig, að sandur reiknast 19%, mó� 48%, méla 29% og leir 4%. Hér er byggð á árstíðalyklum.

Ef hugað er að samanburði við aðrar ár, þar sem framburður svifaurs hefur nýlega verið reiknaður með sömu aðferð, má nefna, að framburður Jökulsár í Fljótsdal reiknast 300-400 þúsund tonn á ári og framburður Skjálfandafljóts 320-350 þúsund tonn, sem er um tvöfalt meiri framburður en reiknast í Hvítá. Ársmeðalrennsli Hvítár og Skjálfandafljóts er svipað, en ársmeðalrennsli Jökulsár í Fljótsdal er um þriðjungur af ársmeðalrennsli hinna ánna hvorar um sig. Hlutföll kornastærðarflokksanna í þessum ám eru ólík, sjá mynd 14. Þegar framburður Hvítár og Skjálfandafljóts er borinn saman, kemur í ljós, að þær bera fram á líka mikið af leir og mélu, en munurinn liggar í grófa aurnum, einkum sandinum. Vatnasvið hulið jökl er þó nærrí þrefalt víðáttumeira á vatnasviði Hvítár en á vatnasviði Skjálfandafljóts. Á móti kemur, að áhrif öskugosa eru miklu meiri á vatnasviði Skjálfandafljóts.



Skýringar: Lr leir, MI méla, Mr móð, Sd sandur

MYND 14. Hundraðshlut kornastærðarflokka svifaurs í Hvítá í Borgarfirði 1952-96, Skjálfandafljóti 1950-95 og Jökulsá í Fljótsdal 1966-94.

Um framhald á aurburðarmælingum er það að segja, að mikilvægt er, að botnskrið verði mælt, en þær mælingar eru dýrar. Svifaursssýni hafa ekki verið tekin síðan 1996 vegna minni fjárveitinga ríkisins. Af því, sem hér kemur fram, virðist mjög æskilegt að bæta í gagnasafnið mæliniðurstöðum úr sýnum teknum við mikið rennsli, a. m. k. við rennsli yfir $200 \text{ m}^3/\text{s}$ til þess að reyna að bæta svifaurslyklana og verður það gert, þegar færi gefst. Einnig má líta á svifaursmælingar sem vöktun á því, sem er að gerast á vatnasviðinu. Til þess að hún komi að haldi, þarf að taka nokkur sýni á ári.

6. HEIMILDIR

Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 1989: *Jarðfræðikort af Íslandi. 1:500 000. Berggrunnskort.* Náttúrufræðistofnun Íslands og Landmælinga Íslands, Reykjavík (1. útgáfa).

Haukur Tómasson og Svanur Pálsson 1968: *Skýrsla um aurburðarrannsóknir 1965-1966.* Orkustofnun.

Haukur Tómasson 1990: Aurburður í íslenskum ám. Í: *Vatnið og landið.* Guttormur Sigbjarnarson (ritstjóri). Vatnafræðiráðstefna, október 1987. Orkustofnun: 169-174.

Haukur Tómasson og Svanur Pálsson 1990: Aurburður og rof. Í: *Vatns er þörf.* Sigurjón Rist. Menningarsjóður: 75-78.

Haukur Tómasson, Svanur Pálsson og Guðmundur H. Vigfússon 1996: *Framburður svifaurs í Jökulsánum norðan Vatnajökuls.* Orkustofnun, OS-96024/VOD-02.

Svanur Pálsson og Guðmundur H. Vigfússon 1997: *Framburður svifaurs í Skjálfandafljóti.* Orkustofnun, OS-97056.