



ORKUSTOFNUN

Vatnamælingar

Framburður svifaurs í Skjálfandafljóti

**Svanur Pálsson
Guðmundur H. Vigfússon**

Unnið fyrir auðlindadeild Orkustofnunar

1997

OS-97056



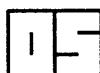
ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 546670

**Svanur Pálsson
Guðmundur H. Vigfússon**

Framburður svifaurs í Skjálfandafljóti

**OS-97056
Reykjavík, nóvember 1997**



ORKUSTOFNUN

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Lykilsíða

| | | |
|--|---------------|---|
| Skýrsla nr.: | Dags.: | Dreifing: |
| OS-97056 | Nóvember 1997 | <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til |
| Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: FRAMBURÐUR SVIFAURS Í SKJÁLFANDAFLJÓTI | | Upplag: 30 |
| | | Fjöldi síðna: 25 |
| Höfundar: Svanur Pálsson Guðmundur H. Vigfússon | | Verkefnisstjóri: Árni Snorrason |
| Gerð skýrslu / Verkstig: Gagnaskýrsla, mat | | Verknúmer: 546 670 |
| Unnið fyrir: Auðlindadeild Orkustofnunar | | |
| Samvinnuaðilar: | | |
| Útdráttur: <p>Í skýrslunni er fjallað um framburð svifaurs í Skjálfandafljóti á árabilinu 1950-1995. Verkið tengist hugmyndum um virkjun árinnar til raforkuframleiðslu. Útreikningar á magni svifaurs byggjast nær eingöngu á sýnum teknum við brúna hjá Stórvöllum. Sýnin eru 95 talsins, svokölluð S1-sýni og því tiltölulega góð. Enda þótt gögn um svifaursmælingar nái aðeins yfir riflega two áratugi er framburðurinn samt reiknaður fyrir allan þann tíma sem heilsárs rennslisgögn ná yfir. Meðalframburður svifaurs á tímabilinu reiknast 320 þúsund tonn á ári samkvæmt árslykli en 350 þúsund tonn ef byggt er á tveim svifaurslyklum. Framburður er langmestur í maí og júní. Grófur svifaur reiknast 83 % og finn 17 %. Sýni tekin við yfir 500 m³/s rennsli skortir og dregur það úr áreiðanleika lyklanna. Reiknaður framburður svifaurs svarar til þess að miðlunarlón við Hrafnabjörg fyllist á um 1700-1900 árum. Botnskrið er undanskilið í þessum reikningum.</p> | | |
| Lykilord: | ISBN-númer: | |
| Virkjanir, fallvötn, miðlunarlón, rennsli, aurburður, svifaur, botnskrið, setmyndun, sýnataka, lyklar | | |
| Undirskrift verkefnisstjóra: | | |
| Yfirlæri af: PI | | |

ÁGRIP

Framburður svifaurs í Skjálfandafljóti við Stóruvelli á tímabilinu 1950-95 reiknast að meðaltali 320-350 þúsund tonn á ári. Hann er langmestur í maí og júní, fylgir snjóleysingunni frá víðáttumiklum ógrónum svæðum, en aðeins mjög lítt hluti hans kemur með leysingarvatni frá jöklum.

Svifaurinn greinist þannig eftir kornastærð, að grófur aur ($> 0,02$ mm) er 83% og fínn ($< 0,02$ mm) er 17%. Nánari sundurgreining er þannig, að sandur ($> 0,2$ mm) er 42%, mór ($0,2-0,02$ mm) 41%, méla ($0,02-0,002$ mm) 14% og leir ($< 0,002$ mm) 3%.

Framburðurinn er álíka mikill og í Jökulsá í Fljótsdal, en kornastærðin er gerólik. Framburður Jökulsár er fínn, en framburður Skjálfandafljóts grófur. Hins vegar er kornastærð svifaurs í Skjálfandafljóti og Jökulsá á Fjöllum við Upptyppinga svipuð.

Framburðurinn svarar til þess, að fyrirhugað miðlunarlón við Hrafnabjörg fyllist á tæpum 2000 árum. Hafa verður í huga, að hér er aðeins átt við framburð svifaurs, en aurburður er bæði svifaur og botnskrið. Til þess að fá nánari vitnesku um heildaraurburð þarf að mæla botnskrið, en þær mælingar eru dýrar.

EFNISYFIRLIT

| | |
|---|----|
| ÁGRIP | 2 |
| 1. INNGANGUR | 5 |
| 1.1 Aurburður | 6 |
| 1.2 Rennsli | 6 |
| 2. SÝNATAKA OG ÚRVINNSLA | 8 |
| 2.1 Sýnategundir og kornastærðarflokkun | 8 |
| 2.2 Svifaurslyklar | 9 |
| 3. GAGNASÖFN | 11 |
| 4. FRAMBURÐUR SAMKVÆMT ÁRSLYKLUM | 13 |
| 5. FRAMBURÐUR SAMKVÆMT ÁRSTÍÐALYKLUM | 18 |
| 6. SETMYNDUN Í ÁÆTLUÐU MIÐLUNARLÓNI | 22 |
| 7. NIÐURSTÖÐUR | 24 |
| 8. HEIMILDIR | 25 |

M Y N D A S K R Á

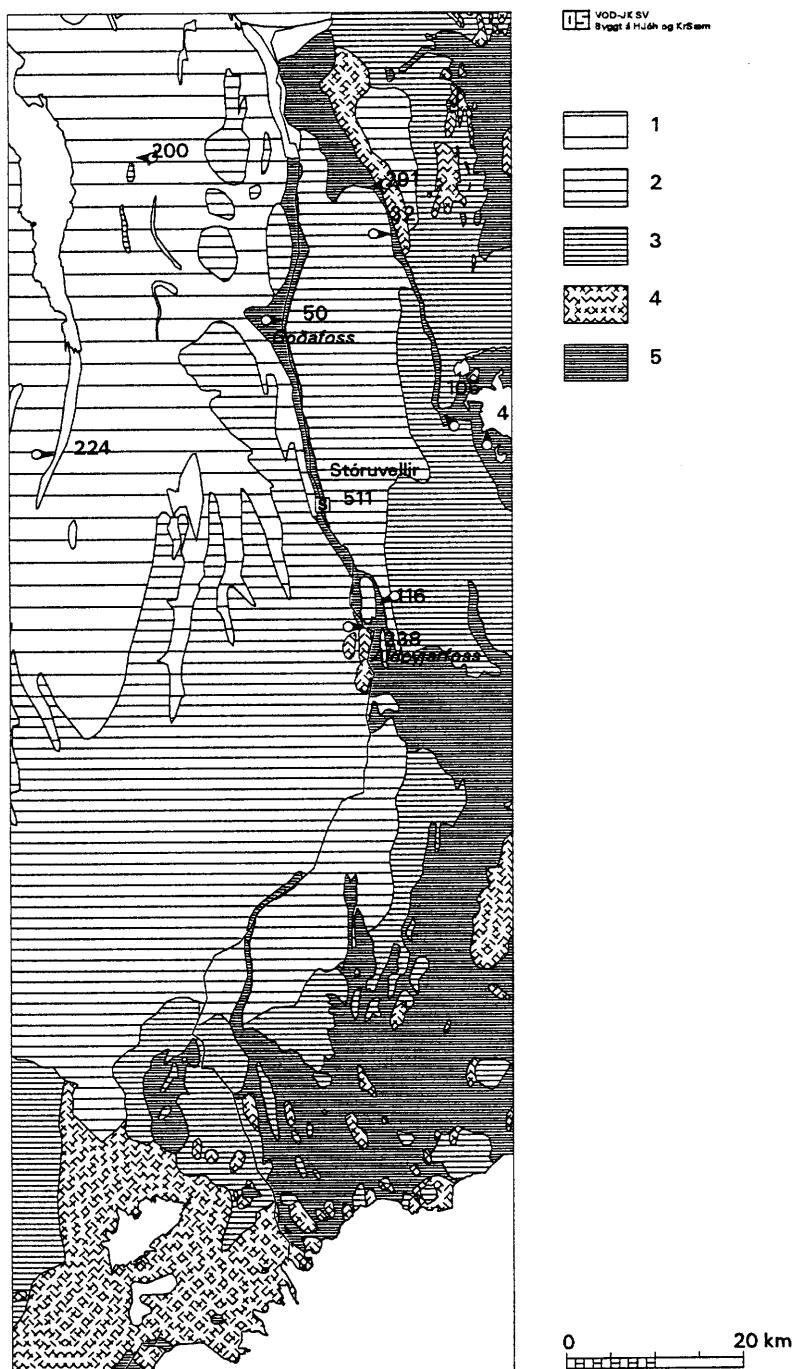
| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Jarðfræðikort af vatnsviði Skjálfandafljóts | 5 |
| 2. | Árslykill fyrir heildarsvifaur í Skjálfandafljóti við Stóruvelli 1965-1996 | 10 |
| 3. | Sýnafjöldi á ári úr Skjálfandafljóti við Stóruvelli | 11 |
| 4. | Meðalrennsli einstakra ára 1950-1995 | 11 |
| 5. | Mánaðarmeðalrennsli 1950-1995 | 12 |
| 6. | Langæi rennslis í Skjálfandafljóti við Stóruvelli 1950-1995 | 12 |
| 7. | Svifaursframburður einstakra ára samkvæmt árslykli | 14 |
| 8. | Framburður svifaurs eftir mánuðum samkvæmt árslykli | 15 |
| 9. | Hundraðshlut svifaurs af einstökum kornastærðarflokum samkvæmt árslykli | 17 |
| 10. | Samband stöðvunar svifaurs og viðstöðu vatns í lónum | 22 |
| 11. | Hundraðshlut kornastærðarflokka svifaurs í Skjálfandafljóti 1950-95, Jöklulsá á Fjöllum við Upptyppinga 1986-91 og Jökulsá í Fljótsdal við Hól 1966-94 | 24 |

T Ö F L U S K R Á

| | | |
|----|---|----|
| 1. | Kornastærðarflokkar svifaurs | 9 |
| 2. | Skjálfandafljót við Stóruvelli, heildarframburður svifaurs á ári samkvæmt árslykli | 13 |
| 3. | Skjálfandafljót við Stóruvelli, framburður svifaurs af einstökum kornastærðarflokum | 16 |
| 4. | Skjálfandafljót við Stóruvelli, árslyklar svifaurs | 16 |
| 5. | Skjálfandafljót við Stóruvelli, heildarframburður svifaurs á ári samkvæmt lyklum fyrir maí-júní og júlí-apríl | 18 |
| 6. | Skjálfandafljót við Stóruvelli, framburður svifaurs reiknaður út frá mismunandi lyklum og árstíðum | 20 |
| 7. | Skjálfandafljót við Stóruvelli, árstíðalyklar svifaurs | 21 |
| 8. | Setmyndun af völdum svifaurs í áætluðu miðlunarloni við Hraf nabjörg | 23 |

1. INNGANGUR

Skýrsla þessi fjallar um framburð svifaurs í Skjálfandafljóti á tímabilinu 1950-1995. Mynd 1 er jarðfræðikort af vatnsviði fljótsins gert af Hauki Jóhannessyni og Kristjáni Sæmundssyni, en útfært nánar af Skúla Víkingssyni.



Skýringar: 1. Tertiert basalt, 2. Plio-pleistocen myndun, 3. Basalt frá síðari hluta ísaldar,
4. Móberg frá síðari hluta ísaldar, 5. Nútímahraun

MYND 1. Jarðfræðikort af vatnsviði Skjálfandafljóts, þar sem sýndur er
sýnatökustaðurinn við Stóruvelli ásamt rennslismælistöðvum Vatnamælinga.

Vatnasvið Skjálfandafljóts við Goðafoss er 3306 km², þar af 131 km² undir jöklum. Fljótið er dragá, lindá og jökulá. Austurhluti vatnasviðsins nær inn á vestasta hluta virka gosbeltisins á Norðurlandi, sem leggur til lindavatnsþáttinn. Vesturhlutinn nær yfir eldri berggrunn og hefur rennslið þaðan einkenni dragáa. Jökulvatnsþátturinn er minnstur og nær einungis bundinn við hásumarið, en fljótið sækir jökulvatn bæði til Vatnajökuls (Bárðarbungu) og Tungnafellsjökuls.

1.1 Aurburður

Ástæðan fyrir því, að verið er að mæla svifaur í Skjálfandafljóti er sú, að verði fljótið virkjað til raforkuframleiðslu, þarf að gera miðlunarlón. Aurburður fyllir lónið með tímanum, og er mikilvægt að gera sér grein fyrir því, hve langan tíma það tekur. Framburður fallvatns sest til í miðlunarlonum og það veldur breytingum á mótu farvega og þar með á umhverfinu.

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 einu sinni verið mælt í Skjálfandafljóti, og reyndist það þá mjög óverulegt miðað við svifaurninn, en varasamt er að leggja mikið upp úr einni mælingu.

Nær öll sýni til svifaursmælinga úr Skjálfandafljóti hafa verið tekin við brúna hjá Stórvöllum og við þessa útreikninga er einvörðungu byggt á sýnum þaðan. Sýnin eru tiltölulega góð, þar sem þau eru öll svokölluð S1-sýni, sem er hæsti gæðaflokkur svifaursssýna, sjá næsta kafla. Þau eru 95 talsins og var fyrsta sýnið tekið 1965, en hin á árunum 1974-1996. Sá galli er þó á sýnatökustaðnum, að Svartá rennur í Skjálfandafljót nokkru ofar og hafa árnar ekki náð að blandast sem skyldi. Reynt hefur verið að bæta úr þessu með því að taka sýnin á um sex stöðum á þversniðinu með sem jöfnustu millibili. Áformað er að endurskoða fljótlega dreifingu tökustaðanna í þversniðinu með tilliti til rennslis.

Gögn um svifaursmælingar ná aðeins yfir rúmlega tvo síðustu áratugina, en í útreikningunum, sem hér er fjallað um, eru þau notuð til að reikna framburð fyrir 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 vatnsviðinu, sem leitt hafi til breytinga á aðgengi árinnar að aur af svifaurskornastærð, sem t. d. fylgja framhlaupi í jöcli eða öskugosi.

Við söfnun svifaursssýnanna hafa margir starfað. Mælingar á aurnum í sýnum hefur Svanur Pálsson annast. Meðhöndlun gagnanna í tölvu hefur verið unnin af Svani og Guðmundi H. Vigfússyni, sem hefur gert flest forritin, sem notuð hafa verið við gagnavinnsluna. Gögn um rennsli eru fengin úr gagnabanka Vatnamælinga. Haukur Tómasson hefur haft umsjón með verkinu.

1.2 Rennsli

Við Stórvelli er ekki rennslismælistöð. Við úrvinnsluna eru notuð rennslisgögn úr mælistöð Vatnamælinga Orkustofnar við Goðafoss, sem er um 21 km neðar, en eithvað af vatni bætist í fljótið á milli þessara staða. Hér er gengið út frá því, að rennslið við Stórvelli sé um 4 m³/s minna en við Goðafoss, svo að við útreikningana eru rennslisgildin frá Goðafossi lækkuð sem því nemur. Það byggist á því, að rennsli við Stórvelli, þegar sýni hafa verið tekin, hefur verið fengið með því, að nota rennsli við Goðafoss og draga frá því u. þ. b. 4 m³/s, mismikið þó eftir árstíðum og rennsli. Þetta er auðvitað ekki nákvæmt og þyrfti að bæta úr því, t. d. með fleiri mælingum á þveránum og á milli þessara staða og líkani, en það bíður betri tíma.

Gögn um daglegt rennsli við Goðafoss eru til frá 1. september 1949, en samfelld fyrir heil ár ná þau yfir árabilið 1950-1995, þ. e. 46 ár. Eftirfarandi upplýsingar um rennsli í Skjálfandafljóti eru fengnar frá Bjarna Kristinssyni, sem er svæðisstjóri Vatnamælinga í þessum landshluta:

Kvarði var settur upp við Fljótsbakka 18. ágúst 1949 og var þar mælt til 5. október 1955. Lesið var af kvarðanum einu sinni á dag, Á veturna var lesið af ísabolta við Fosshól, þegar ís var á ánni, því þar er áin þrengri og dýpri og truflast því minna. Með kvarðaálestri mælist hreyfing fljótsins nokkuð dempuð í samanburði við mælingar sírita.

Frá 5. október 1955 til 23. ágúst 1969 var mælistöð á hægri bakka árinnar, u. þ. b. 130 m neðan Goðafoss. Vegna þess að brunnurinn var óeinangraður, vildi frjósa í honum, sem olli rekstrarerfiðleikum.

Við tók þá gassíriti 23. ágúst 1969 og hefur rekstur hans gengið mjög vel til þessa dags. Mælirinn er undir gömlu brúnni á vinstri bakkanum, á móts við Fosshól.

Kláfur er um 1 km neðan brúarinnar, á móts við Hjarðarholt, og var fyrst mælt á honum þann 22. júlí 1986. Fram að því var ýmist mælt við Stóruvelli eða Fljótsbakka.

Ráðgert er að leggja mælistöðina við Fosshól niður, enda er talið nægilegt fyrir rannsóknir á vatnsafl Skjálfandafljóts ofan Goðafoss, að reka sírita við Aldeyarfoss (vhm238) og í Svartá (vhm116).

Til þess að hægt sé að lengja mæliröðina við Aldeyarfoss (vhm238) með aðstoð Fosshóls- og kvarðaraðarinnar (vhm50) þarf að gera grein fyrir þeim mismun, sem er á rennsli við þessar mælistöðvar. Mæla þarf rennsli lindáa, sem renna í fljótið, gera samanburðarmælingar á milli Stóruvalla og Fosshóls, skoða þarf forsendur fjögurra lykila, sem eru eldri en sá núverandi. Einnig þarf að endurreikna gamlar rennslismælingar og fara yfir eldri vatnshæðargögn með núverandi tækjakosti.

Eftir að Fosshólmælirinn verður lagður niður, mun síritinn í Fnjóská (vhm200) veita upplýsingar um afrennsli vatnasviða neðan Aldeyarfoss og Svartár.

Mjög lítið er vitað um grunnvatn við og neðan væntanlegs virkjunarstaðar í Skjálfandafljóti.

Þegar nær líður virkjun í Skjálfandafljóti, þarf að huga að rennslismælingum í Mjóadalsá og Suðurá/Svartá.

2. SÝNATAKA OG ÚRVINNSLA

2.1 Sýnategundir og kornastærðarflokkun

Sýnin, sem hér er byggt á, eru öll af tegundinni S1, sem er besta tegundin. Til glöggvunar er hér gefið almennt yfirlit yfir allar sýnategundirnar, en sýnin eru flokkuð út frá sýnatökuaðferðum.

F-sýni, sem tekin eru í flöskur án þess að sýnataki sé notaður. Þau eru nær alltaf tekin á einum stað nærri öðrum 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 vatnsstremið 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 orðið er véldrifid, 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 þversniðinu. 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. Þau eru tekin 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 bakkann, 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 sína 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 svifaurninn. 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 ættu að vera nokkuð sambærileg, þar sem straumharðar ár renna þróngt. S2-sýnin eru einmitt tekin við slíkar aðstæður. Sýnatoku á nokkrum stöðum á þversniðinu (S1) verður þar trauðla við komið, því að sýnatakinn leitar út í aðalstenginn.

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 svifaurnar 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 svifaurnar, 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 kvarða Atterbergs, en óverulegur hluti svifaursins tilheyrir raunar næsta kornastærðarflokki fyrir ofan, möl. Í úrvinnslu er mölin talin með sandinum, því að hún er svo óverulegur hluti svifaursins.

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) er nefndur grófur svifaur, en méla og leir ($< 0,02$ mm) fínn. Grófi aurinn er miklu viðkvæmari fyrir mismunandi sýnatökuaðferðum og aðstæðum á sýnatökustað en sá fíni. 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 einvörðungu 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 m^3/s :

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

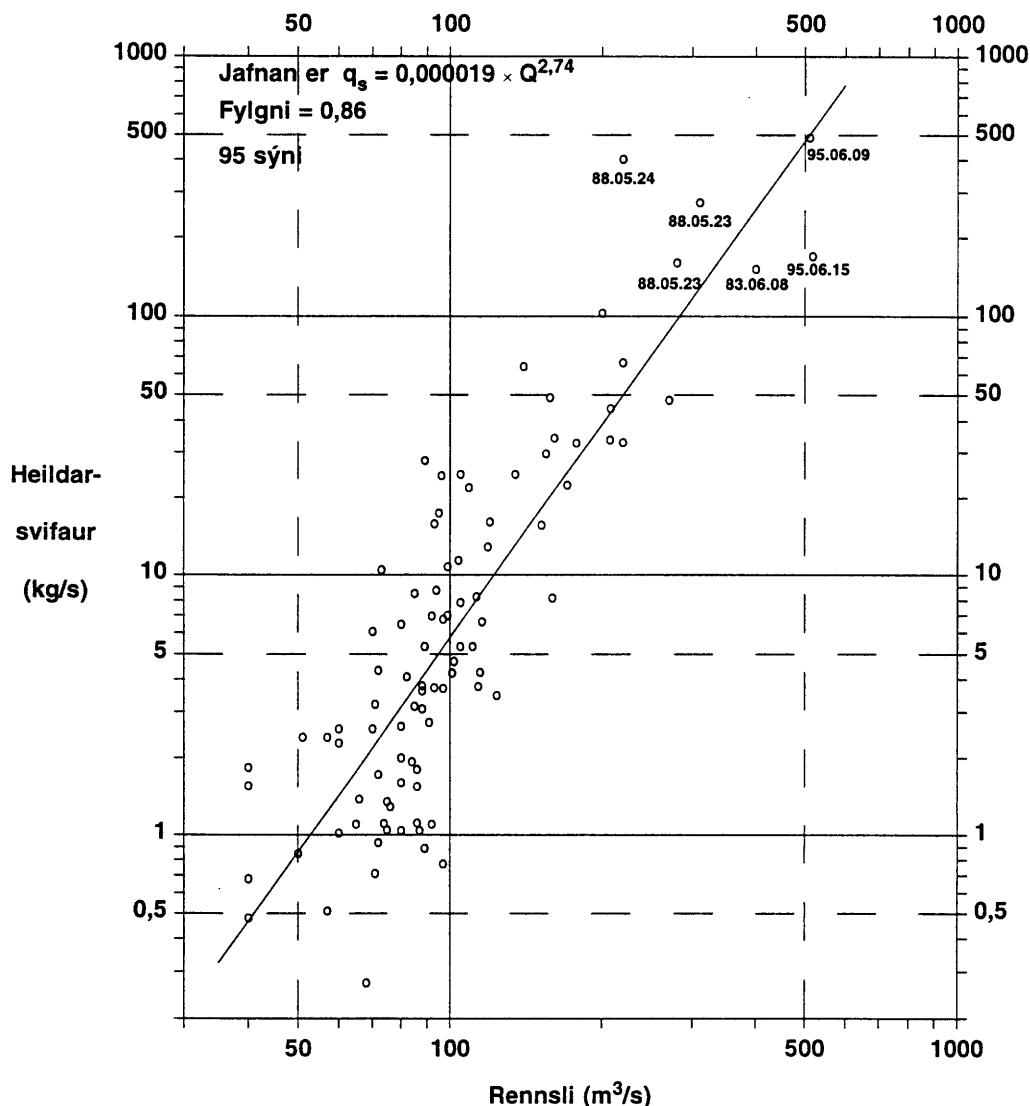
Við útreikningana, sem fjallað er um í skýrslunni, voru notaðir allmargir lyklar. Helstu einkennisþættir þeirra, þar á meðal fastinn, eru birtir í töflum. Til þess að auðvelda samanburð milli fasta einstakra lykla eru þeir birtir í töflunum margfaldaðir með 10^6 . Í stað þess t. d. að skrifa fastann $1,48E-04$ 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 hætt 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 rennslisbili, 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 hárrennslí og of líttin við lágrennslí. Algengt er, að veldisvísisinn 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 meðalrennslí dagsins. Þannig á að vera unnt að reikna svifaurn, sem berst fram á einu ári eða nokkurra ára tímabili, ef lyklarnir eru nægilega góðir og upplýsingar liggja fyrir um dagsmeðalrennslí. 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 2 sýnir dæmigerðan svifaurslykil byggðan á allmögum sýnum og með sæmilegri fylgni. Vegna þess að efstu gildin dreifast mikið, eykst óvissan, þegar framburður við hátt rennsli er reiknaður. Til fróðleiks eru settar dagsetningar við allra hæstu gildin og sést, að þau eru úr þremur vorflóðum, en þau ráða einmitt langmestu um heildarframburð ársins í Skjálfandafljóti.



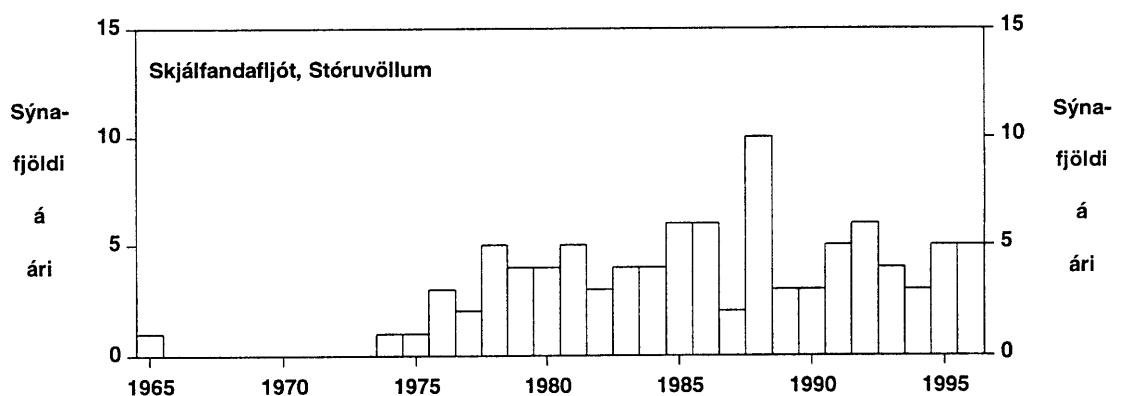
MYND 2. Árslykill fyrir heildarsvifaur í Skjálfandafljóti við Stóruvelli 1965-1996.

Svifaurslyklar voru fyrst notaðir við útreikninga á framburði í íslenskum ám 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 skýrslu Orkustofnunar 1996 *Framburður svifaurs í Jökulsánum norðan Vatnajökuls* eftir Haukur Tómasson, Svanur Pálsson og Guðmundur H. Vigfússon, en þar var staðið að útreikningum á framburði á hliðstæðan hátt og hér er gert.

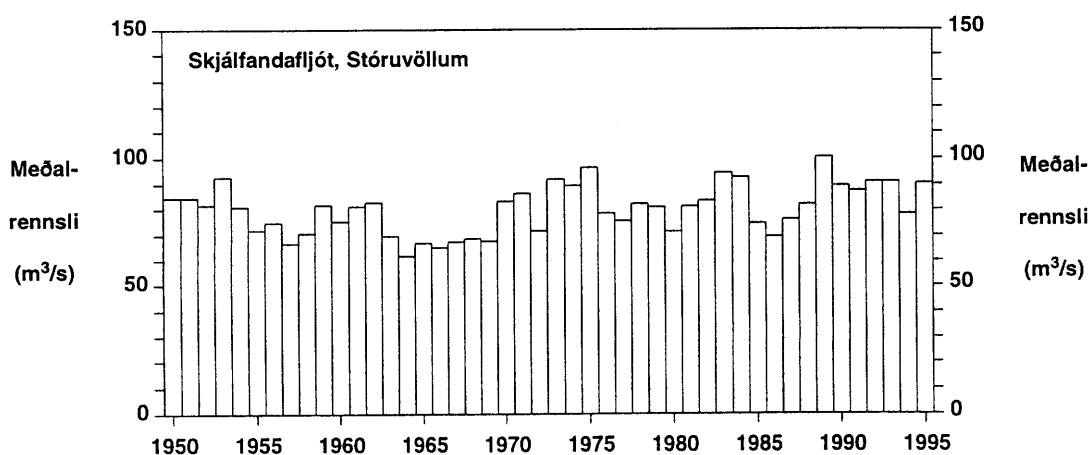
3. GAGNASÖFN

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 augnabliksrennsli, 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 Skjálfandafljóti hafa sýni til mælinga á svifaur verið tekin á fjórum stöðum, þ. e. við Ófeigsstaði, Goðafoss, Stóruvelli og á Gæsavatnaleið. Við Stóruvelli hafa verið tekin 95 sýni, allt S1-sýni, en á hinum stöðunum hafa aðeins verið tekin örfá sýni á hverjum stað og koma því ekki að gagni við útreikninga á framburði, sjá skýrslu Orkustofnunar 1996 *Gagnasafn aurburðarmælinga 1963-1995* eftir Svan Pálsson og Guðmund H. Vigfússon. Á mynd 3 er sýnt, hvernig sýnatakan við Stóruvelli dreifist í tíma. Eitt sýni var tekið 1965, síðan lá sýnataka niðri til 1974, en sýni hafa verið tekin árlega síðan.



MYND 3. Sýnafföldi á ári úr Skjálfandafljóti við Stóruvelli.

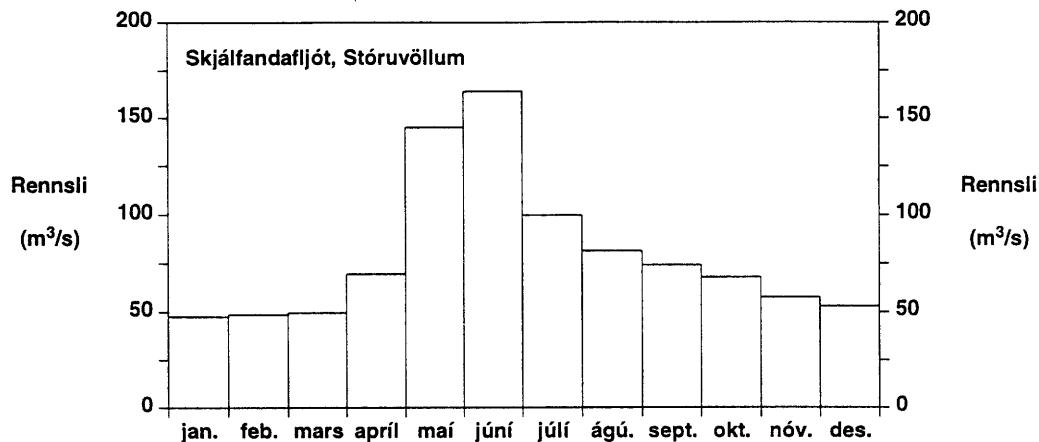


MYND 4. Skjálfandafljót við Stóruvelli, meðalrennsli einstakra ára.

Á mynd 4 er sýnt meðalrennsli einstakra ára á tímabilinu 1950-95. Ekki eru mjög miklar breytingar á því frá ári til árs. Enginn vatnshæðarmælir er við Stóruvelli, en gildin frá vatnshæðarmæli vhm050 við Goðafoss eru lækkuð um $4 \text{ m}^3/\text{s}$, sem er áætluð viðbót í rennsli fljótsins á milli Stóruvalla og Goðafoss. Í útreikningunum, sem fjallað er um hér á eftir, eru á

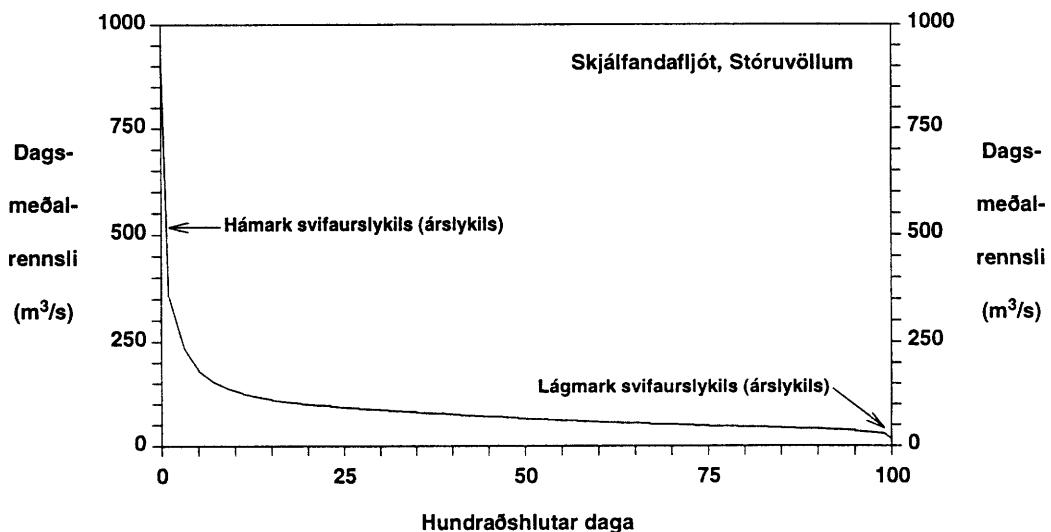
sama hátt notuð gögn um dagsmeðalrennsli frá Goðafossi, sem hafa verið lækkuð um $4 \text{ m}^3/\text{s}$. Þetta er ekki nægilega nákvæmt og þyrfti að bæta úr því síðar, t. d. með líkani.

Á mynd 5 er sýnt mánaðarmeðalrennsli Skjálfandafljóts við Stóruvelli á tímabilinu 1950-95. Þar kemur skýrt fram, að rennslið er mest á vorin og fyrri hluta sumars; áin er greinileg "vorflóðaá".



MYND 5. Skjálfandafljót við Stóruvelli, mánaðarmeðalrennsli 1950-1995.

Á mynd 6 er sýnt langæi rennslis í Skjálfandafljóti við Stóruvelli. Rennslið er aðeins örlítinn hluta tímans hærra en hæsta rennsli svifaurslykilsins. Þetta hárennsli er að mestu bundið við árin 1979, 1989 og 1995, en það skiptir miklu máli við útreikning á framburði þau ár.



MYND 6. Langæi rennslis í Skjálfandafljóti við Stóruvelli 1950-1995.

Hér á eftir verður gerð grein fyrir útreikningum á framburði. Fyrst er framburðurinn reiknaður út frá árslyklum, þ. e. lyklum, sem byggðir eru á öllum sýnum, en síðan farið út í reikninga, þar sem notaðir eru svokallaðir árstíðalyklar, sem byggðir eru á sýnum teknum í tilteknum mánuðum. Þó að svifaursgögnin séu nær öll frá síðstu tveimur áratugum, er framburður reiknaður fyrir allan tímann, sem rennslisgögnin ná yfir. Það er gert í trausti þess, að ekki er vitað um neina þá atburði á vatnsviðinu, sem leitt hafi til breytinga á aðgengi árinnar að aur af svifaurskornastærð, eins og t. d. fylgir framhlaupi í jöklri eða öskugosi.

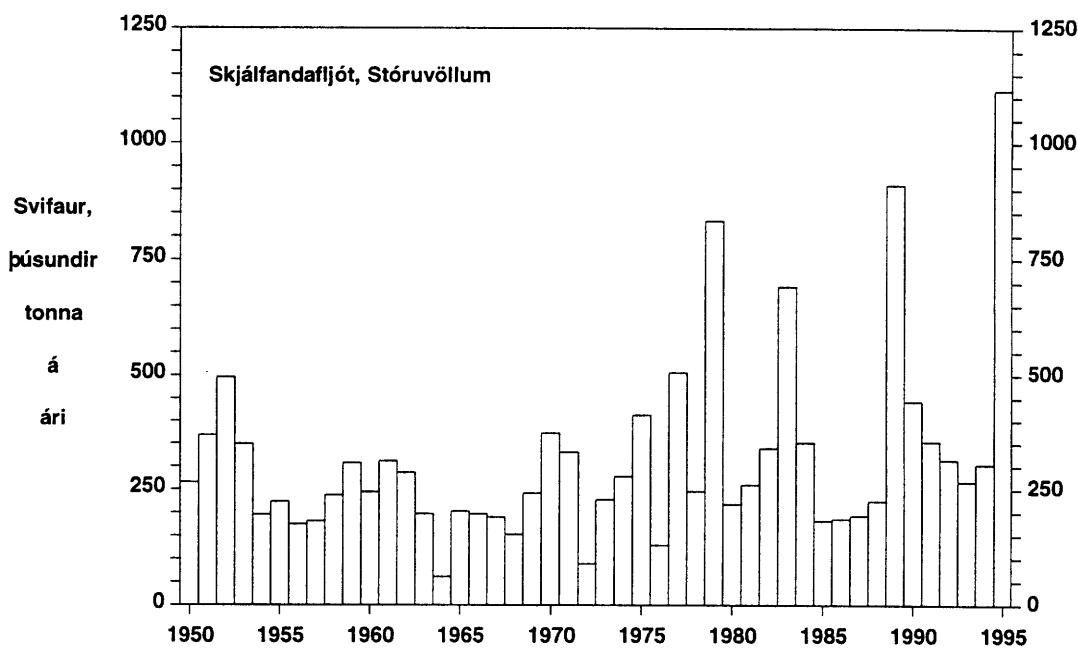
4. FRAMBURÐUR SAMKVÆMT ÁRSLYKLUM

Gerðir voru árslyklar fyrir heildarsvifaur, einstaka kornastærðarflokka og grófan svifaur og fínan. Þeir voru notaðir til að reikna framburð svifaurs á tímabilinu 1950-1995.

TAFLA 2. Skjálfandafljót við Stóruvelli, heildarframburður svifaurs á ári samkv. árslykli 1965-1996

| Ár | Dagsmeðalrennsli m ³ /s | Svifaur þúsundir tonna |
|----------|---------------------------------------|---------------------------|
| 1950 | 84,6 | 265 |
| 1951 | 84,6 | 367 |
| 1952 | 81,9 | 495 |
| 1953 | 92,6 | 347 |
| 1954 | 81,2 | 196 |
| 1955 | 71,8 | 223 |
| 1956 | 74,9 | 174 |
| 1957 | 66,6 | 181 |
| 1958 | 70,7 | 237 |
| 1959 | 82,0 | 306 |
| 1960 | 75,4 | 243 |
| 1961 | 81,3 | 310 |
| 1962 | 83,0 | 285 |
| 1963 | 69,6 | 197 |
| 1964 | 61,6 | 61 |
| 1965 | 67,0 | 203 |
| 1966 | 65,1 | 197 |
| 1967 | 67,4 | 190 |
| 1968 | 68,6 | 152 |
| 1969 | 67,6 | 240 |
| 1970 | 83,4 | 372 |
| 1971 | 86,5 | 330 |
| 1972 | 71,7 | 88 |
| 1973 | 91,9 | 227 |
| 1974 | 89,5 | 277 |
| 1975 | 96,5 | 412 |
| 1976 | 78,7 | 128 |
| 1977 | 75,7 | 505 |
| 1978 | 83,0 | 245 |
| 1979 | 81,2 | 831 |
| 1980 | 71,5 | 218 |
| 1981 | 81,3 | 259 |
| 1982 | 83,6 | 338 |
| 1983 | 94,4 | 690 |
| 1984 | 92,6 | 351 |
| 1985 | 74,6 | 182 |
| 1986 | 69,3 | 185 |
| 1987 | 76,1 | 192 |
| 1988 | 82,1 | 224 |
| 1989 | 100,2 | 910 |
| 1990 | 89,3 | 443 |
| 1991 | 87,3 | 354 |
| 1992 | 90,8 | 313 |
| 1993 | 90,9 | 266 |
| 1994 | 78,5 | 303 |
| 1995 | 90,3 | 1114 |
| Meðaltöl | 80,2 | 318 |

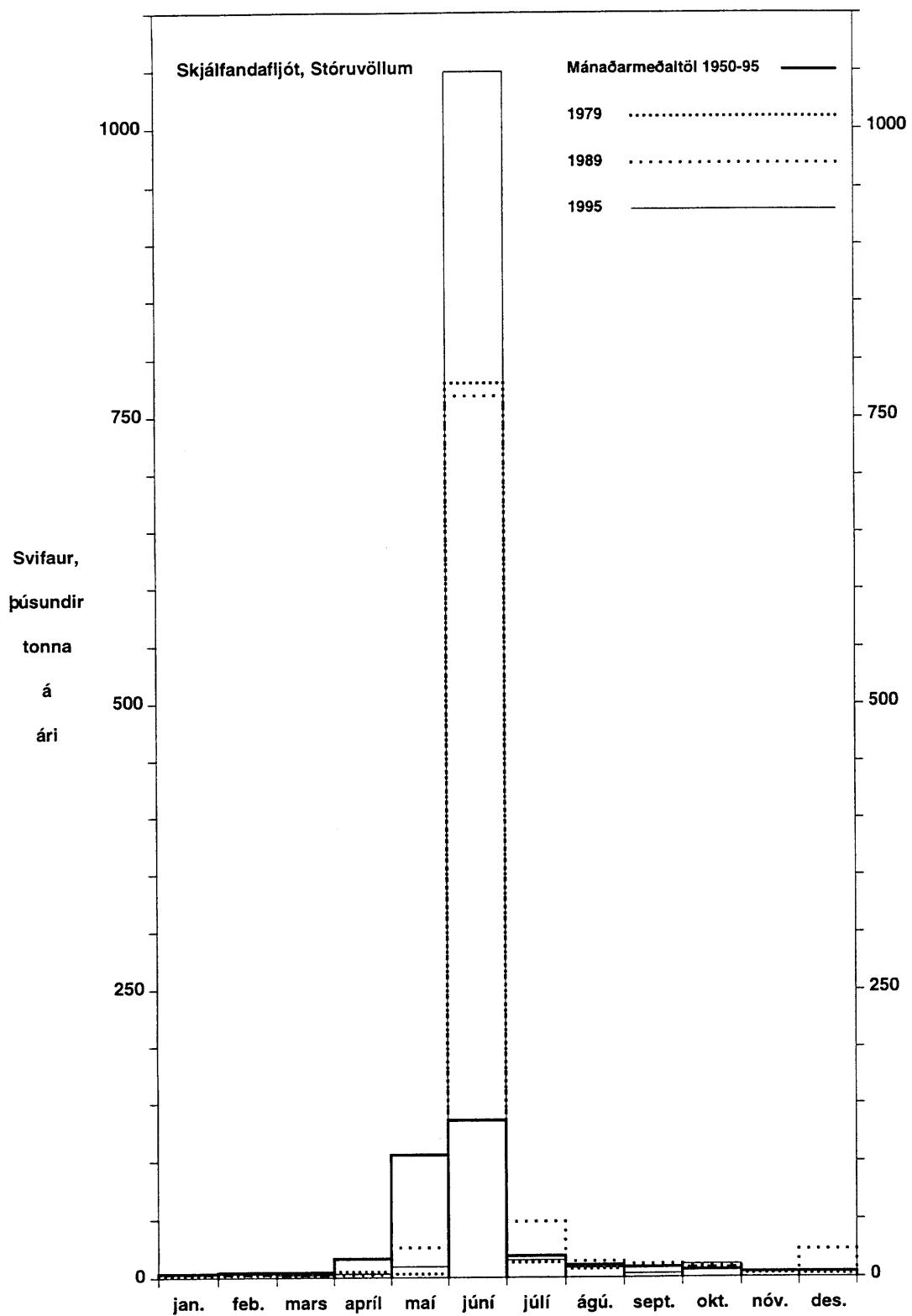
Í töflu 2 og á mynd 7 er sýnt, hvernig framburður svifaurs reiknast frá ári til árs. Breytileikinn milli ára er mikill. Sérstaklega er áberandi hvað framburðurinn reiknast mikill árin 1979, 1989 og 1995, en langmestur hluti hans er í júní. Niðurstöðurnar fyrir þessi ár eru ótraustar, vegna þess að rennslið var allmarga daga ofan við hæsta rennsli svifaurslykils, jafnvel verulega ofan við það, en 1979 komst dagsmeðalrennslið í $779 \text{ m}^3/\text{s}$, 1989 í $657 \text{ m}^3/\text{s}$ og 1995 í $908 \text{ m}^3/\text{s}$. Samt þurfa þessar niðurstöður ekki að vera fjarri lagi, en telja verður mjög áríðandi að bæta við sýnum úr vorflóðum. Heildarsvifaur reiknast 318 þúsund tonn á ári að meðaltali á þessum 46 árum. Ef árin 1979, 1989 og 1995 eru ekki talin með, reiknast meðalframburðurinn aftur á móti 273 þúsund tonn á ári.



MYND 7. Svifaursframburður einstakra ára samkvæmt árslykli.

Á mynd 8 er sýndur framburður svifaurs eftir mánuðum samkvæmt þessum útreikningum. Samkvæmt meðaltölunum fyrir allt tímabilið, súlurnar, sem dregnar eru með feitum strikum, er nær allur framburðurinn í maí og júní. Framburðurinn árin 1979, súlur dregnar með þéttum punktum, 1989, súlur dregnar með gisnum punktum, og 1995, súlur dregnar með grönum strikum, er nær allur í júní, en nær enginn í maí. Þessi þrjú vor voru mjög köld, en veður hlýnaði snögglega nálægt mánaðamótum maí og júní. Snjóalög voru í meira lagi vorið 1995 og líklega einnig vorið 1989.

Í töflu 3 er sýnt, hvernig framburður svifaurs skiptist í kornastærðarflokka og í grófan aur og fínan. Summunum fyrir grófan aur og fínan og fyrir kornastærðarflokkana fjóra ber vel saman við meðaltalið fyrir heildarsvifaur í töflu 2.



MYND 8. Framburður svifaurs eftir mánuðum samkvæmt árslykli.

TAFLA 3. Skjálfandafljót við Stóruvelli, framburður svifaurs af einstökum kornastærðarflokum
Svifaur í þúsundum tonna á ári að meðaltali 1950-95

| Kornastærð Stærðarflokcur | Mörk | Svif- aur | Hundraðs- hluti |
|------------------------------|------------|--------------|--------------------|
| Sandur | > 0,2 | 132 | 42 |
| Mór | 0,02-0,2 | 131 | 41 |
| Sandur + mó� | > 0,02 | 263 | 83 |
| Méla | 0,002-0,02 | 46 | 14 |
| Leir | < 0,002 | 9 | 3 |
| Méla + leir | < 0,02 | 55 | 17 |
| Samtals allir stærðarflokkar | | 318 | 100 |
| Grófur svifaur | > 0,02 | 270 | 83 |
| Fínn svifaur | < 0,02 | 55 | 17 |
| Grófur + fínn | | 325 | 100 |

TAFLA 4. Skjálfandafljót við Stóruvelli, árslyklar svifaurs

Lyklarnir eru á forminu $q_s = k \times Q^n$, q_s : svifaur (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

| Korna- stærð | 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 $k \times 10^6$ | Veldisví- n |
|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-------------|--------------------------|----------------|
| Heildarsvifaur | 517 | 908 | 40 | 19,3 | 95 | 0,86 | 19 | 2,74 |
| Sandur | 517 | 908 | 40 | 29,2 | 95 | 0,85 | 0,4 | 3,27 |
| Mór | 517 | 908 | 40 | 26,3 | 95 | 0,84 | 0,9 | 3,12 |
| Méla | 517 | 908 | 40 | 9,1 | 95 | 0,73 | 105 | 2,06 |
| Leir | 517 | 908 | 40 | 6,5 | 95 | 0,53 | 77 | 1,81 |
| > 0,02 mm | 517 | 908 | 40 | 26,7 | 95 | 0,86 | 1,7 | 3,14 |
| < 0,02 mm | 517 | 908 | 40 | 7,7 | 95 | 0,68 | 246 | 1,93 |

Í töflu 4 er yfirlit yfir helstu einkenni árslyklanna. Enginn lykillinn er með fylgni yfir 0,9, svo að enginn þeirra getur talist "góður" að því leyti. Það þarf ekki að koma á óvart, því að Skjálfandafljót er blanda af ólíkum vatnsfallategundum. Lyklarnir fyrir heildarsvifaur, sand, mó og grófan svifaur hafa sæmilega fylgni, en veldisvíasar þeirra eru í hæsta lagi nema veldisvíssirinn fyrir heildarsvifaur er viðunandi. Hinir lyklarnir hafa lélega fylgni, en veldisvíssarnir eru mjög þokkalegir. Einnig dregur skortur á sýnum teknum við hátt rennsli úr áreiðanleika lyklanna.

Töluberð hætta er á fjarstæðukenndum niðurstöðum fyrir þá daga, sem rennslið er allra hæst, þegar hæstu rennslisgildi svifaurslykla eru miklu lægri en dagsmeðalrennslið kemst upp í átímbilinu, sem framburður er reiknaður fyrir. Einkum er hætta á, að framburður geti reiknast langt yfir því, sem eðlilegt er, ef veldisvíssar eru mjög háir. Hæsti aurstyrkurinn hefur hér mælst 1827 mg/l, en þá var rennslið aðeins 220 m^3/s . Kannað var, hve hátt aurstyrkurinn getur farið samkvæmt lyklunum.

Aurstyrkur samkvæmt lykli fyrir heildarsvifaur reiknast 3 daga yfir 2000 mg/l, mest 2670 mg/l.

Sandstyrkur kemst upp í 1990 mg/l og reiknast 7 daga yfir 1000 mg/l.

Móstyrkur kemst upp í 1700 mg/l og reiknast 7 daga yfir 1000 mg/l.

Mélustyrkur kemst upp í 140 mg/l og reiknast 10 daga yfir 100 mg/l.

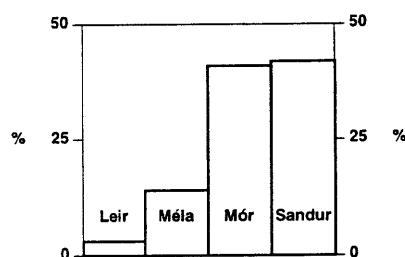
Leirstyrkur kemst upp í 19 mg/l.

Styrkur grófs aurs kemst upp í 3570 mg/l og reiknast 7 daga yfir 2000 mg/l.

Styrkur fíns aurs kemst upp í 140 mg/l.

Þessar reikniniðurstöður eru innan þeirra marka, að geta vel verið nærrí raunverulegum aurstyrk.

Mynd 9 sýnir skiptingu framburðarins í kornastærðarflokkana fjóra. Þar kemur skýrt fram, að sandur og mór eru yfirgnæfandi hluti framburðarins.



MYND 9. Hundraðshluti svifaurs af einstökum kornastærðarflokkum samkvæmt árslykli.

5. FRAMBURÐUR SAMKVÆMT ÁRSTÍÐALYKLUM

TAFLA 5. Skjálfandafljót við Stóruvelli, heildarframburður svifaurs á ári samkvæmt lyklum fyrir maí-júní og júlí-apríl 1965-1996

| Ár | Dagsmeðalrennslí m ³ /s | Svifaur þúsundir tonna | | |
|----------|---------------------------------------|------------------------|------------|-----------|
| | | Maí-júní | Júlí-apríl | Allt árið |
| 1950 | 84,6 | 197 | 83 | 280 |
| 1951 | 84,6 | 342 | 64 | 406 |
| 1952 | 81,9 | 520 | 66 | 586 |
| 1953 | 92,6 | 246 | 109 | 355 |
| 1954 | 81,2 | 121 | 79 | 200 |
| 1955 | 71,8 | 117 | 87 | 204 |
| 1956 | 74,9 | 132 | 58 | 190 |
| 1957 | 66,6 | 163 | 42 | 205 |
| 1958 | 70,7 | 218 | 52 | 270 |
| 1959 | 82,0 | 281 | 64 | 345 |
| 1960 | 75,4 | 151 | 76 | 227 |
| 1961 | 81,3 | 284 | 63 | 347 |
| 1962 | 83,0 | 120 | 123 | 243 |
| 1963 | 69,6 | 171 | 45 | 216 |
| 1964 | 61,6 | 19 | 45 | 64 |
| 1965 | 67,0 | 186 | 40 | 226 |
| 1966 | 65,1 | 184 | 35 | 219 |
| 1967 | 67,4 | 142 | 54 | 196 |
| 1968 | 68,6 | 110 | 52 | 162 |
| 1969 | 67,6 | 230 | 38 | 268 |
| 1970 | 83,4 | 345 | 64 | 409 |
| 1971 | 86,5 | 305 | 62 | 367 |
| 1972 | 71,7 | 30 | 59 | 89 |
| 1973 | 91,9 | 63 | 137 | 200 |
| 1974 | 89,5 | 55 | 161 | 216 |
| 1975 | 96,5 | 345 | 98 | 443 |
| 1976 | 78,7 | 48 | 77 | 125 |
| 1977 | 75,7 | 573 | 42 | 615 |
| 1978 | 83,0 | 199 | 64 | 263 |
| 1979 | 81,2 | 995 | 51 | 1046 |
| 1980 | 71,5 | 199 | 45 | 244 |
| 1981 | 81,3 | 208 | 71 | 279 |
| 1982 | 83,6 | 314 | 64 | 378 |
| 1983 | 94,4 | 691 | 107 | 798 |
| 1984 | 92,6 | 246 | 105 | 351 |
| 1985 | 74,6 | 141 | 59 | 200 |
| 1986 | 69,3 | 161 | 41 | 202 |
| 1987 | 76,1 | 152 | 59 | 211 |
| 1988 | 82,1 | 165 | 70 | 235 |
| 1989 | 100,2 | 985 | 99 | 1084 |
| 1990 | 89,3 | 449 | 59 | 508 |
| 1991 | 87,3 | 331 | 69 | 400 |
| 1992 | 90,8 | 232 | 98 | 330 |
| 1993 | 90,9 | 186 | 88 | 274 |
| 1994 | 78,5 | 294 | 56 | 350 |
| 1995 | 90,3 | 1382 | 70 | 1452 |
| Meðaltöl | 80,2 | 283 | 70 | 353 |

Í skýrslu Orkustofnunar frá 1996 *Framburður svifaurs í Jökulsánum norðan Vatnajökuls* eftir Hauk Tómasson, Svan Pálsson og Guðmund H. Vigfússon er fjallað um niðurstöður útreikninga af sama tagi og hér. Þar var framburðurinn reiknaður bæði út frá árslyklum, eins og fjallað er um hér að framan, og einnig út frá árstíðalyklum. Þar var árinu skipt í tvær árstíðir, sumar, júlí - september, og vetur, október - júní. Þær ár eru allar að verulegum hluta jökulár, sem eiga upptök sín hátt yfir sjó. Jökulleysingin á sér nær öll stað í júlí og ágúst, en áhrifa hennar gætir mikið í september. Þar er aurstyrkurinn áberandi hærri miðað við rennsli að sumrinu en á öðrum árstímum og fíni aurinn er hlutfallslega meiri að sumrinu. Rennsli er þar mest í júlí og ágúst, nema í Jökulsá í Fljótsdal hefur júní vinninginn.

Í Skjálfandafljóti er þessu öðru vísi farið. Mjög lítill hluti vatnsviðsins er jökli hulinn og rennslið er áberandi mest í maí og júní, dæmigerð vorflóðaeinkenni. Þar sem rennslið er áberandi mest í maí og júní, þótti einsýnt að skipta árinu þannig, að gerður var sérstakur lykill byggður á sýnum teknum í maí og júní og annar lykill byggður á sýnum frá hinum hluta ársins. Niðurstöður útreikninga með þessum lyklum eru sýndar í töflu 5. Með árstíðalyklum byggðum á þessari árstíðaskiptingu reiknast framburðurinn að meðaltali 353 þúsund tonn á ári eða 10% meiri en með árslyklinum. Ef vorflóðaárin 1979, 1989 og 1995 eru ekki talin með, reiknast meðalframburðurinn 296 þúsund tonn, en tilsvarandi tala fengin með árslykli var 273, eins og komið hefur fram hér framar.

Flest árin reiknast framburðurinn miklu meiri í maí-júní en í júlí-apríl, en athygli vekur, að árin 1964, 1972, 1973, 1974 og 1976 snýst þetta við. Þau ár urðu ýmist engin vorflóð eða þau komu í apríl.

Einnig er athyglisvert, að gífurlegur munur reiknast á framburði milli ára. Meðalframburður þau þrjú ár, sem hann reiknast langmestur (1979, 1989 og 1995), er sextán faldur meðalframburður áranna 1964 og 1972, en þau ár reiknast framburður langminnstur á þessu tímabili. Hins vegar var meðalrennsli þessara þriggja miklu aurburðarára aðeins 1,4 falt meðalrennsli þeirra tveggja ára, sem framburður var minnstur. Framburðurinn eykst miklu örar en rennslið vegna þess, að hann fylgir breytingum á rennsli í veldi, sem hér er 2,90 fyrir maí - júní og 2,33 fyrir júlí - apríl, sjá töflu 7. Þau ár, sem rennslið verður sjaldan eða aldrei mjög hátt, jafnvel þó að meðalrennslið sé ekki mjög lágt, eru lítil aurburðarár eins og árin 1964 og 1972, en þau ár komst dagsmeðalrennslið hæst í $151 \text{ m}^3/\text{s}$ fyrra árið og $142 \text{ m}^3/\text{s}$ það seinna. Hins vegar eru ár eins og 1979, 1989 og 1995 mikil aurburðarár, en þá varð rennslið í vorflóðum mjög hátt. Hæstu gildi fyrir dagsmeðalrennsli þeirra ára eru $779 \text{ m}^3/\text{s}$ 1979, $657 \text{ m}^3/\text{s}$ 1989 og $908 \text{ m}^3/\text{s}$ 1995, eins og áður hefur verið getið.

Einnig var reynd önnur árstíðaskipting. Í fyrsta lagi að skipta árinu á sama hátt og gert var við útreikninga á framburði í Jökulsánum norðan Vatnajökuls, þ. e. júlí-september og október-júní, og í öðru lagi var árinu skipt í þrjár árstíðir, júlí-september, október-apríl og maí-júní. Aðeins voru reiknuð meðaltöl fyrir framburð á árabilinu 1950-95, en ekki gildi fyrir einstök ár. Reiknaður var framburður grófs og fíns og aurs og heildarframburður. Niðurstöður þessara reikninga eru sýndar í töflu 6 og jafnframt til samanburðar niðurstöður samkvæmt árslyklum teknar úr töflum 2 og 3. Ekki er stórvægilegur munur á meðaltölunum fyrir heildarframburð allt árið eftir því, hvort notaðir eru árslyklar eða árstíðalyklar. Heildarframburðurinn reiknast þó alltaf meiri, þegar árstíðalyklarnir eru notaðir. Útreikningar með árstíðalyklum ættu að gefa réttari niðurstöður en útreikningar með árslyklum, ef lyklarnir væru jafngóðir. Hér eru lyklarnir mjög mistrúverðugir og margir árstíðalyklarnir verða að teljast lélegir einkum vegna lítillar fylgni.

*TAFLA 6. Skjálfandafljót við Stóruvelli, framburður svifaurs
reiknaður út frá mismunandi lyklum og árstíðum*

Þúsundir tonna. Gildin í dálkinum lengst til hægri eru fengin með lykli fyrir heildarframburð

| Árstíð | Grófur | Fínn | Grófur + fínn | Heildarframburður |
|------------------|--------|------|---------------|-------------------|
| Maí - júní | 293 | 25 | 318 | 283 |
| Júlí - apríl | 31 | 36 | 67 | 70 |
| Allt árið | 324 | 61 | 385 | 353 |
| <hr/> | | | | |
| Júlí - september | 16 | 17 | 33 | 35 |
| Október - júní | 256 | 36 | 292 | 286 |
| Allt árið | 272 | 53 | 325 | 321 |
| <hr/> | | | | |
| Júlí - september | 16 | 17 | 33 | 35 |
| Október - apríl | 21 | 8 | 29 | 27 |
| Maí - júní | 293 | 25 | 318 | 283 |
| Allt árið | 330 | 50 | 380 | 345 |
| <hr/> | | | | |
| Árslyklar | 270 | 55 | 325 | 318 |

Í töflu 7 er yfirlit yfir helstu einkenni árstíðalyklanna. Lyklarnir fyrir maí-júní hafa mjög særilega fylgni og trúverðuga veldisvísa, nema veldisvísis lykilsins fyrir grófa aurinn er í hæsta lagi. Lyklarnir fyrir júlí-apríl hafa trúverðuga veldisvísa en lélega fylgni, og svipað má segja um lyklana fyrir júlí-september, nema lykillinn fyrir grófa aurinn hefur fullháan veldisvísi. Lyklarnir fyrir október-júní verða að teljast mjög særilegir, en lyklarnir fyrir október-apríl mjög lélegir vegna mjög líttillar fylgni. Öllum lyklunum er það sameiginlegt, þótt í mismiklum mæli sé, að hæstu rennslisgildi þeirra þyrftu að vera hærri, þ. e. gildin í dálki merktum "F. y. h. r. l." eru hærri en æskilegt væri. Að þessu leyti eru árstíðalyklarnir heldur lakari en árslyklarnir, eins og við er að búast.

Eins og vikið var að, þegar fjallað var um árslyklana hér að framan, getur verið hætta á því, að fjarstæðukenndar niðurstöður reiknist fyrir þá daga, sem rennslið er hæst. Þetta á sérstaklega við, þegar hæstu rennslisgildi svifaurslykla eru miklu lægri en dagsmeðalrennslið kemst upp í á tímabilinu, sem framburður er reiknaður fyrir. Einkum er hætt við, að framburður geti reiknast langt yfir því, sem eðlilegt er, ef veldisvísar eru mjög háir. Hæsti austyrkurinn hefur hér mælst 1827 mg/l, en þá var rennslið 220 m³/s, eins og áður hefur komið fram. Kannað var, hve margar daga austyrkur reiknast yfir 2000 mg/l samkvæmt einstökum lyklum.

Maí-júní: Heildauraustyrkur reiknast 8 daga yfir 2000 mg/l (mest 3650 mg/l) og styrkur grófs aurs 15 daga yfir sama marki (mest 4930 mg/l), en styrkur fíns aurs náði aldrei 1000 mg/l.

Júlí-apríl og júlí-september: Austyrkurinn reiknaðist aldrei yfir 1000 mg/l.

Október-júní: Heildauraustyrkur reiknast 2 daga yfir 2000 mg/l (mest 2530 mg/l) og styrkur grófs aurs 3 daga yfir sama marki (mest 2730 mg/l), en styrkur fíns aurs reiknaðist aldrei yfir 1000 mg/l.

Október-apríl: Austyrkurinn reiknaðist aldrei yfir 1000 mg/l.

Þessar reikniniðurstöður eru ekki hærri en svo, að slíkur austyrkur gæti staðist í raunveruleikanum.

TAFLA 7. Skjálfandafljót við Stóruvelli, árstíðalyklar svifaurs

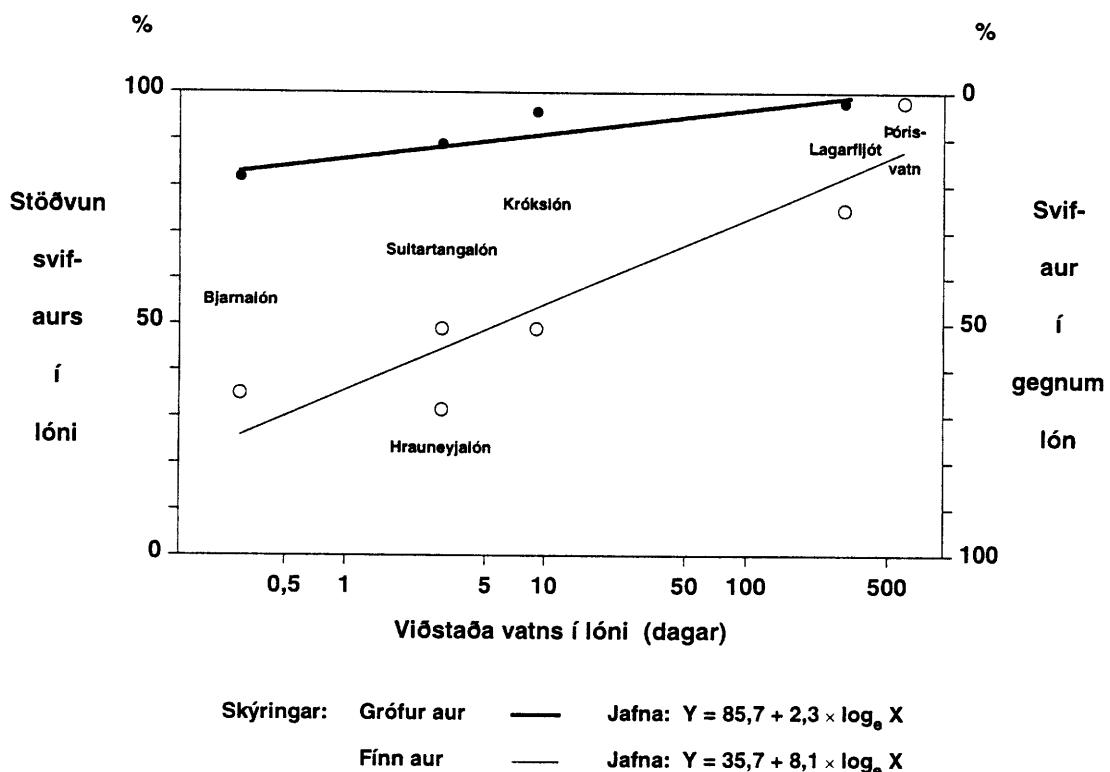
Lyklarnir eru á forminu $q_s = k \times Q^n$, q_s : svifaur (kg/s), k : fasti, Q : rennsli (m^3/s)

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

| Árstíð og 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 $\text{k} \times 10^6$ | Veldisvíssir n |
|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------|----------|---------------------------------|----------------|
| Maí-júní | | | | | | | | |
| Grófur | 517 | 908 | 50 | 32,7 | 32 | 0,89 | 1,5 | 3,20 |
| Fínn | 517 | 908 | 50 | 15,4 | 32 | 0,87 | 88 | 2,08 |
| Heildarframburður | 517 | 908 | 50 | 27,6 | 32 | 0,89 | 8,8 | 2,90 |
| Júlí-apríl | | | | | | | | |
| Grófur | 161 | 556 | 40 | 13,9 | 63 | 0,59 | 92 | 2,20 |
| Fínn | 161 | 556 | 40 | 26,6 | 63 | 0,60 | 4,5 | 2,88 |
| Heildarframburður | 161 | 556 | 40 | 15,9 | 63 | 0,63 | 116 | 2,33 |
| Júlí-september | | | | | | | | |
| Grófur | 161 | 261 | 51 | 14,3 | 53 | 0,68 | 0,5 | 3,33 |
| Fínn | 161 | 261 | 51 | 8,7 | 53 | 0,48 | 24 | 2,53 |
| Heildarframburður | 161 | 261 | 51 | 10,3 | 53 | 0,61 | 14,5 | 2,79 |
| Október-júní | | | | | | | | |
| Grófur | 517 | 908 | 40 | 23,7 | 42 | 0,90 | 9,2 | 2,85 |
| Fínn | 517 | 908 | 40 | 12,8 | 42 | 0,87 | 56 | 2,17 |
| Heildarframburður | 517 | 908 | 40 | 20,1 | 42 | 0,90 | 27 | 2,68 |
| Október-apríl | | | | | | | | |
| Grófur | 97 | 556 | 40 | 15,3 | 10 | 0,51 | 6200 | 1,29 |
| Fínn | 97 | 556 | 40 | 31,4 | 10 | 0,51 | 66 | 2,11 |
| Heildarframburður | 97 | 556 | 40 | 10,3 | 10 | 0,52 | 4370 | 1,45 |

6. SETMYNDUN Í ÁÆTLUÐU MIÐLUNARLÓNI

Aðalástæðan fyrir því, að Orkustofnun er að mæla aurframburð vatnsfalla, er sú, að aurinn sest til í miðlunar- og inntakslónum virkjana og fyllir þau með tímanum. Hugmyndir um virkjun í Skjálfsandafljóti gera ráð fyrir miðlunarlóni ofan við Hrafnabjörg, sem eru nokkru fyrir innan Aldeyjarfoss, sjá skýrslu Orkustofnunar 1986 *Íshólsvatnsvirkjun Forathugun* eftir Hörð Svavarsson og Freystein Sigurðsson.



MYND 10. Samband stöðvunar svifaurs og viðstöðu vatns í lónum.

Mynd 10 sýnir samband viðstöðu vatns og stöðvunar svifaurs í hundraðshlutum. Myndin er tekin úr fyrrnefndri skýrslu Orkustofnunar um framburð svifaurs í Jökulsánum norðan Vatnajökuls. Línuritið er byggt á reynslu frá Tungnár- og Þjórsárvæðinu og Lagarfljóti. Jöfnurnar fyrir samband viðstöðu og stöðvunar svifaurs eru vissulega byggðar á fáum gildum og koma vafalaust til með að breytast eitthvað síðar, þegar gildi bætast við frá fleiri miðlunum. Þær eru hér notaðar til þess að reikna stöðvun svifaurs í fyrirhuguðu miðlunarlóni við Hrafnabjörg. Hér er reiknað með jafnmíklum svifaursframburði þar og við Stóruvelli, en vatnasvið fyrirhugaðrar miðlunar er um 1900 km^2 eða tölувert minna en vatnasvið Skjálfsandafljóts við Stóruvelli, sem er um 3150 km^2 . Raunar verður að gera ráð fyrir, að töluberður svifaur berist í fljótið á milli Stóruvalla og Hrafnabjarga í vorflóðum, einkum með Mjóadalsá, en á móti kemur, að í þessum reikningum er framburður botnskriðs ekki tekinn með.

Niðurstöður þessara útreikninga á stöðvun svifaurs eru settar fram í töflu 8 ásamt áætluðum fyllingartíma lónsins samkvæmt þeim niðurstöðum. Gert er ráð fyrir, að meðalrennslið sé um $40 \text{ m}^3/\text{s}$ og rúmmál lónsins um 400 GI , sjá fyrrnefnda skýrslu um Íshólsvatnsvirkjun. Gengið er út frá framburði samkvæmt árslyklum, sjá töflur 3 og 6, af því að árslyklarnir eru taldir trúverðugri en árstíðalyklarnir, sérstaklega að því er varðar fylgni. Gert er ráð fyrir, að rúmþyngd sets sé $1,4$.

TAFLA 8. Setmyndun af völdum svifaurs í áætluðu miðlunararlóni við Hraf nabjörg

| | |
|---|------|
| Meðalrennsli (m^3/s) | 40 |
| Rúmmál lóns (Gl) | 400 |
| Meðalviðstaða vatns í lóni (dagar) | 115 |
| Stöðvun svifaurs í lóni á ári (milljónir tonna) | |
| Grófur | 0,26 |
| Fínn | 0,04 |
| Alls | 0,30 |
| Árleg setmyndun (Gl) | 0,21 |
| Fyllingartími lóns (ár) | 1900 |

Fyllingartíminn er samkvæmt þessu 1900 ár, en væri 1700 ár, ef reiknað væri út frá árstíðalyklum, þar sem önnur árstíðin væri maí-júní og hin árstíðin væri júlí-apríl, sjá töflu 6. Hér er aðeins reiknað með framburði svifaurs, en eitthvað af grófum aur hlýtur að berast fram sem botnskrið og styttist fyllingartíminn, sem því nemur frá því, sem hér reiknast. Botnskrið hefur aðeins einu sinni verið mælt í Skjálfandafljóti og þá við Ófeigsstaði í Köldukinn. Botnskriðið mældist þá aðeins um 4% af svifaur á sama tíma, en rennsli var þá um tvöfalt meira en meðalrennsli. Þess má geta, að aur af sandkornastærð færist úr botnskriði yfir í svifaur, þegar straumhraði og þar með rennsli eykst, svo að gera verður ráð fyrir, að botnskriðið hafi verið tiltölulega lítið, þegar þessar mælingar voru gerðar. Vert er að hafa í huga, að varasamt er að draga miklar ályktanir af einni mælingu. Áformáð er að fjalla síðar um botnskriðsmælingar í annarri skýrslu.

7. NIÐURSTÖÐUR

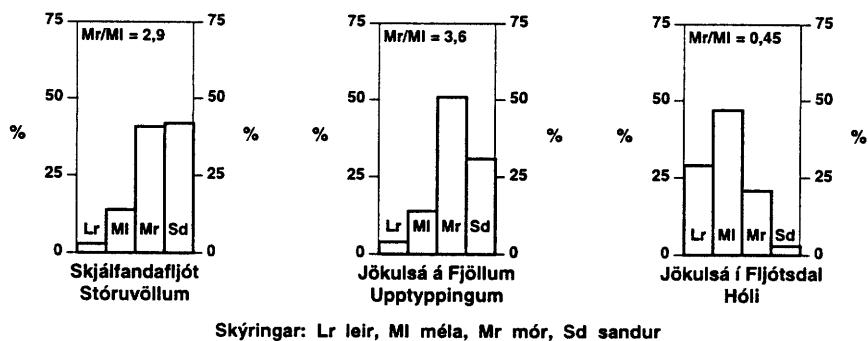
Meðalframburður svifaurs í Skjálfandafljóti við Stóruvelli á tímabilinu 1950-95 reiknast um 320 þúsund tonn á ári, samkvæmt árslykli, en um 350 þúsund tonn, ef byggt er á tveimur svifaurslyklum, öðrum fyrir maí-júní og hinum fyrir aðra mánuði ársins. Framburður í júní árin 1979, 1989 og 1995 reiknast svo mikill, að meðalframburðurinn lækkar um 15%, ef þessum árum er sleppt og á það við hvort sem byggt er á árslykli eða árstíðalyklum miðuðum við fyrnefnda skiptingu.

Framburðurinn er langmestur í maí og júní, fylgir leysingarvatninu frá víðáttumíklum ógrónum svæðum, en er aðeins að mjög litlu leyti kominn með leysingarvatni frá jöklum. Af þessum sökum er hugsanlegt, að hér væri unnt að draga úr aurburði með uppgräðslu.

Grófur svifaurs reiknast 83% og fínn 17%. Nánari sundurgreining er þannig, að sandur reiknast 42%, mór 41%, méla 14% og leir 3%. Hér er byggt á árslyklum.

Vöntun á sýnum teknum við rennsli yfir 500 m³/s dregur úr áreiðanleika svifaurslyklanna og þar með niðurstaðnanna, sérstaklega að því er varðar svifaurs af sand- og mókornastærð.

Ef hugað er að samanburði við aðrar ár, þar sem framburður hefur nýlega verið reiknaður með sömu aðferð, má nefna, að framburður Jökulsár í Fljótsdal reiknast 300-400 þúsund tonn á ári eða mjög svipaður að magni, en aurinn er þar miklu fínkornóttari en í Skjálfandafljóti, sjá mynd 11. Ársmeðalrennsli Jökulsár í Fljótsdal er um þriðjungur af ársmeðalrennsli Skjálfandafljóts. Hins vegar eru hlutföll kornastærðarflokksanna í Skjálfandafljóti og Jökulsá á Fjöllum við Upptyppinga nokkuð lík, sjá sömu mynd. Í sýnin úr Jökulsá við Upptyppinga vantar vafalítið eitthvað af sandi, vegna þess að þau eru S3-sýni. Þess vegna má gera ráð fyrir, að hlutföllin séu í raun og veru enn líkari en kemur fram á myndinni. Árnar ná allar inn á eldvirka svæðið norðan Vatnajökuls, en Jökulsá er miklu meiri jökulá en Skjálfandafljót. Ársmeðalrennsli þeirra er svipað, en framburður Jökulsár um tíft meiri.



MYND 11. Hundraðshlutin kornastærðarflokks svifaurs í Skjálfandafljóti 1950-95, Jökulsá á Fjöllum við Upptyppinga 1986-91 og Jökulsá í Fljótsdal við Hól 1966-94.

Samkvæmt þeim niðurstöðum, sem hér hafa fengist, svarar svifaursframburðurinn til þess, að fyrirhugað miðlunarlón við Hrafnabjörg fyllist á um 1700-1900 árum. Hér er botnskrið undanskilið, en mælingar á því hafa aðeins einu sinni verið gerðar í Skjálfandafljóti, og þá reyndist framburður þess aðeins um 4% af framburði svifaurs á sama tíma. Varasamt er að draga of miklar ályktanir af einni mælingu. Áformað er að fjalla síðar um botnskriðsmælingar í annarri skýrslu.

Fylling fyrirhugaðs miðlunarlóns vegna svifaurs virðist seint verða vandamál að óbreyttum aðstæðum, en spurningunni um botnskriðið er ósvarað. Mikilvægt er, að botnskrið verði mælt, en þær mælingar eru dýrar. Um framhald á svifaursmælingum hér er það að segja, að líta má á þær sem vöktun á því, sem er að gerast á vatnasviðinu. Til þess að slík vöktun sé marktæk, þarf að taka nokkur sýni á ári og hafa þá í huga að ná sýnum við sem hæst rennsli í flóðum.

8. 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.

Hörður Svavarsson og Freysteinn Sigurðsson 1986: *Íshólsvatnsvirkjun — Forathugun.* Orkustofnun, OS-86065/VOD-21 B.

Svanur Pálsson og Guðmundur H. Vigfússon 1996: *Gagnasafn aurburðarmælinga 1963-1995.* Orkustofnun, OS-96032/VOD-5 B.