

LV-2016-067
ORK-16010



Heildarframburður Hólmsár við Þaula árin 2009–2013

orkusalan 

 Landsvirkjun

Skýrsla LV nr: LV-2016-067, ORK 16010Dags: Desember 2016

Fjöldi síðna: 45

Upplag: 25

Dreifing:

-
- Opin
-
-
- Birt á vef
-
-
- Takmörkuð til


Titill: Heildarframburður Hólmsár við Paula árin 2009–2013Höfundar /
fyrirtæki Esther Hlíðar Jensen, Jórunn Harðardóttir, Svava Björk Þorláksdóttir,
Snorri Zóphóniasson / Veðurstofa ÍslandsVerkefnisstjóri: Helgi Jóhannesson verkefnisstjóri Landsvirkjunar, Steinar Friðgeirsson
verkefnisstjóri Orkusölnunnar ehf. og Jórunn Harðardóttir verkefnisstjóri
Veðurstofu ÍslandsUnnið fyrir: Landsvirkjun og Orkusölnuna ehf.

Samvinnuaðilar: _____

Útdráttur: Í skýrslunni eru teknar saman niðurstöður úr öllum aurburðarferðum sem farnar hafa verið á tímabilinu 2009–2013 í Hólmsá við Paula. Fjöldi svifaurssýna er 38 og skriðaurssýnin eru 585 en 124 þeirra hafa verið greind. Kornastærðareiginleikar eru skoðaðir fyrir bæði svifaur og skriðaur og framburðarlyklar fyrir hvern kornastærðarflokk svifaurs reiknaðir. Heildarframburður reiknast 2,79 milljón tonn á ári þar af 21% skriðaur. Svifaursframburður skv. árslykli er 2,28 milljón tonn á ári. Stærstur hluti svifaursframburðarins er sandur (>0,2 mm) kringum 58%. Fínefni reiknast um 19% af framburði. Hins vegar verður að vekja athygli á því að aðstæður á vatnasviðinu voru mjög breytilegar yfir tímabilið og því verða ofangreindar niðurstöður að skoðast í því ljósi.

Lykilorð: Hólmsá, Pauli (vhm 577), sýnataka, svifaurslykill, skriðaursslykill, svifaursstyrkur, kornastærðarmælingar, skriðaurframburður, heildarframburður.

ISBN nr: _____

Samþykki verkefnisstjóra
LandsvirkjunarSamþykki verkefnisstjóra
Orkusölnunnar ehf.

LV-2016-067
ORK-16010



Heildarframburður Hólmsár við Þaula árin 2009–2013

Höfundar:
Esther Hlíðar Jensen
Jórunn Harðardóttir
Svava Björk Þorláksdóttir
Snorri Zóphóníasson



Skýrsla VÍ-2016/004
ISSN 1670-8261

Desember 2016

Efnisyfirlit

Efnisyfirlit	6
Myndaskrá	6
1 Inngangur.....	8
2 Rennslismælingar í Hólmsá við Þaula.....	11
2.1 Úrkoma og rennsli	12
3 Aurburðarsýnataka og úrvinnsla	13
3.1 Framgangur mælinganna	14
3.2 Tímasetning aurburðarsýna miðað við rennsli	14
3.3 Svifaurssýni	16
3.3.1 Sýnataka og kornastærðargreining	16
3.3.2 Svifaursslyklar.....	16
3.4 Skriðaurssýni	17
3.4.1 Sýnataka og kornastærðargreining	17
3.4.2 Framburðarútreikningar	20
4 Niðurstöður aurburðarmælinga í Hólmsá við Þaula.....	21
4.1.1 Niðurstöður svifaursmælinga	21
4.1.2 Kornastærðargreining svifaurs	25
4.1.3 Niðurstöður skriðaursmælinga.....	27
4.1.4 Kornastærðargreiningar skriðaurs	29
4.2 Samanburður svifaurs og skriðaurs	33
5 Samantekt	36
6 HEIMILDIR	39
Viðauki. Tölur og talnaefni	41

Myndaskrá

Mynd 1. Kort af vatnasviði Hólmsár.....	8
Mynd 2. Yfirlitskort af svæðinu með rennslismæli- og sýnatökustöðum.	10
Mynd 3. Gildandi rennslislykill (577/8) og rennslismælingar á vatnsárinu 2011–2012....	12
Mynd 4. Dagsmeðalrennsli og dagsmeðalúrkoma á vatnasviði Hólmsár við Þaula	12
Mynd 5. Uppsöfnuð dagsmeðalúrkoma og uppsafnað dagsmeðalrennsli.	13
Mynd 6. Rennsli Hólmsár við Þaula, reiknað út frá gögnum V577	15
Mynd 7a-d. Rennsli Hólmsár við Þaula í atburðaferðum ásamt mældu rennsli.....	15
Mynd 8. Meðaltímalengd sýnataka við botn, mælt meðalrennsli og meðalframburður	18
Mynd 9. Langæi dagsmeðalrennslis 2009–2013	21
Mynd 10. Vensl heildarstyrks svifaurs og rennslis flokkuð eftir sýnatökuárum.....	22

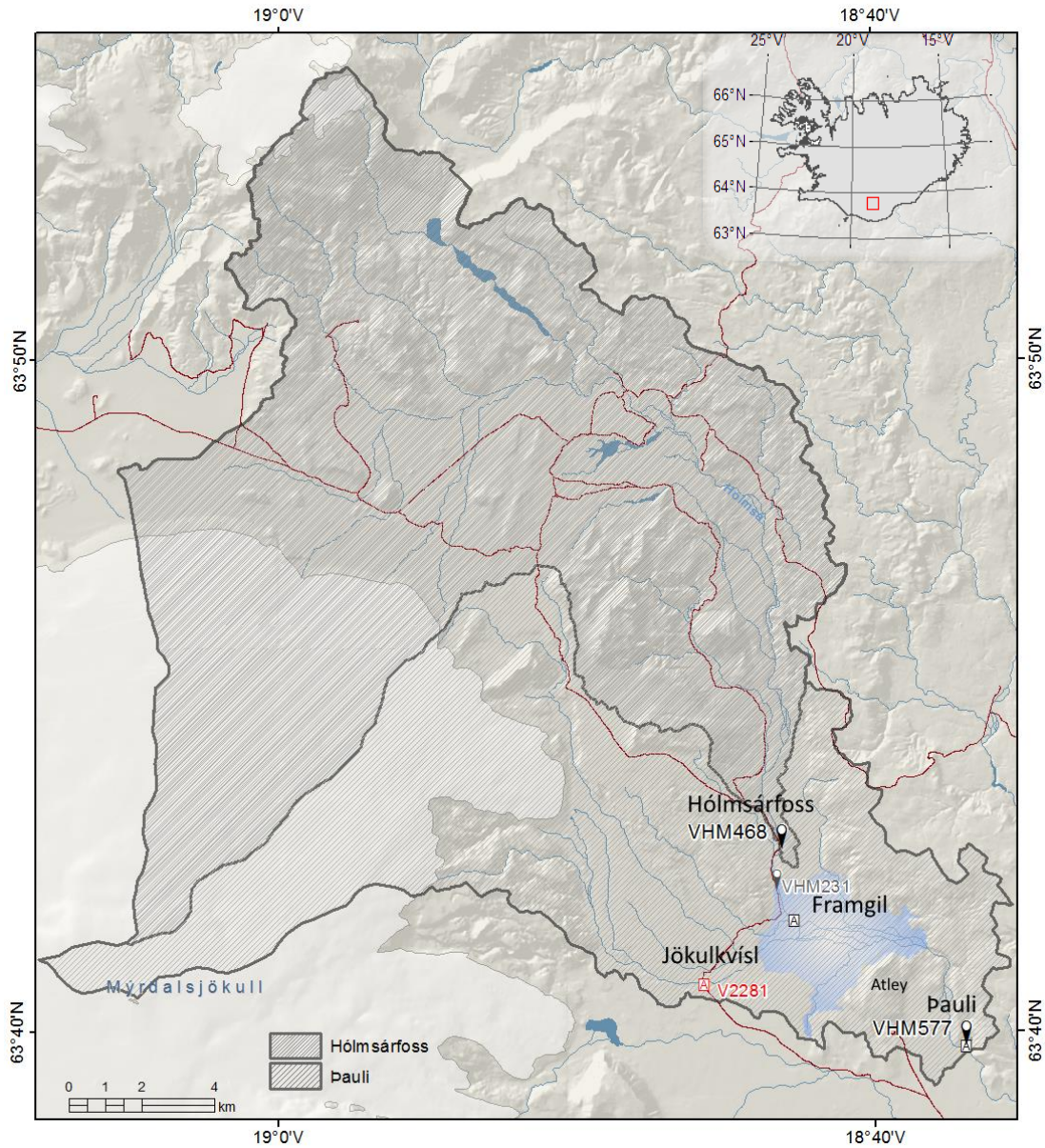
Mynd 11. Svifaurslykill fyrir Hólmsá við Þaula 2009–2013.....	23
Mynd 12. Svifaurslykill fyrir vetrarsýni úr Hólmsá við Þaula 2009–2013.....	23
Mynd 13. Svifaurslykill fyrir sumarsýni úr Hólmsá við Þaula 2009–2013.....	24
Mynd 14. Samanburður á útreiknuðum ársframburði svifaurs árin 2009–2013.....	25
Mynd 15. Kassagraf af dreifingu styrks svifaurs eftir kornastærðarflokkum.....	25
Mynd 16. Meðalframburður svifaurs skv. árslyklum einstakra kornastærðarflokka.....	27
Mynd 17. Skriðausframburður við Hólmsá, Þaula, tímabilið 2009–2013.....	28
Mynd 18. Skriðauslykill fyrir Hólmsá við Þaula fyrir árin 2009–2013.....	28
Mynd 19. Kassagraf af kornastærðareiginleikum skriðaus.....	30
Mynd 20. Vensl meðalstærðar og aðgreiningar og skakka og aðgreiningar.....	31
Mynd 21. Rennslismæling gerð 17.12.2012.....	32
Mynd 22. Rennslismæling gerð 9.5 2013.....	32
Mynd 23. Samanburður skriðaus- og svifaursframburðar í sýnatökuferðum.....	35
Mynd 24a og b. Svifaurs- og skriðauslyklar fyrir Framgil og Þaula.....	37
Mynd 25. Framburður svifaurs miðað við árslykil og árstíðarlykla.....	38

Töfluskrá

Tafla 1. Rennslislyklar í Hólmsá við Þaula sem notaðir voru við skýrslugerðina.....	11
Tafla 2. Fjöldi og gerð aurburðarsýna sem tekin voru í Hólmsá við Þaula.....	14
Tafla 3. Kornastærðarflokkar svifaurs.....	16
Tafla 4. Staðsetning og fjöldi skriðausssýna úr Hólmsá við Þaula árin 2009–2013.....	18
Tafla 5. Samanburður stærða í mm og í ϕ -gildum og heiti kornastærðarflokka.....	19
Tafla 6. Helstu einkenni svifaurslyklanna.....	22
Tafla 7. Framburður svifaurs í Hólmsá við Þaula árin 2009–2013.....	24
Tafla 8. Einkenni svifaurslykla einstakra kornastærðarflokka.....	26
Tafla 9. Meðalframburður svifaurs skv. árslyklum einstakra kornastærðarflokka.....	27
Tafla 10. Heildarframburður skriðaus í Hólmsá við Þaula árin 2009–2013.....	29
Tafla 11. Svifaurs- og skriðausframburður á ári í Hólmsá við Þaula.....	33
Tafla 12. Samanburður svifaurs- og skriðausframburðar í sýnatökuferðum.....	34
Tafla 13. Svifaurs- og skriðausframburður á ári í Hólmsá við Þaula.....	36

1 Inngangur

Verkefnið er framhaldsrannsókn á framburði Hólmsár vegna hugsanlegrar nýtingar á henni til raforkuframleiðslu (Verkís, 2013). Áður hafa verið gefnar úr skýrslur um niðurstöður mælinga (Jórunn Harðardóttir o.fl. 2003, 2004 og 2005) og með samantekt á mælingum og framburðarútreikningum við Framgil (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2014).



Mynd 1. Kort af vatnasviði Hólmsár. Sýnd er staðsetning vatnshæðarmælis í Hólmsá við Hólmsárfoss (vhm 468), staðsetning eldri mælis við Framgil (vhm 231) ásamt eldri sýnatökustað sem er merktur sem svart [A] á kortinu. Nýlega fyrirhugaður sýnatökustaður er merktur sem rautt [A] og vatnshæðarmælir við Paula (vhm577) er einnig sýndur. Fyrirhugað „lónstæði“ er teiknað eftir landlíkani ÍSOR miðað við 172 m hæð (óvissa 10–50 m) (Verkís 2013; Skúli Víkingsson, 2008).

Vatnasvið Hólmsár við Þaula er 383 km². Mýrdalsjökull þekur 94 km² af vatnasviðinu og Torfajökull 2 km² (Oddur Sigurðsson 2013) (Mynd 1). Upplýsingar um vatnaskil á jökli eru fengnar úr skýrslu verkfræðistofunnar Vatnaskil (2012).

Uppruni Hólmsár er aðallega undan Mýrdalsjökli og Torfajökli, úr lindum nyrst á Mælifellssandi og úr Brytalækjum sem spretta fram úr hraunum austan í Háöldu (Mynd 2). Við upptökin og í efri hluta farvegarins er rennsli Hólmsár sambland af lindavatni, yfirborðsvatni og jökulbráð. Við venjulegt rennsli er aurburður þar ekki mikill en eykst mikið við skyndiflóð sem fylgja snörpum rigningarskúrum. Flóð þessi geta orðið veruleg á vetrum við leysingu sem fylgir aftakaúrkomu. Neðan ármóta Hólmsár og Jökulkvíslar breytast einkenni framburðarins vegna áhrifa jökulvatnsins.

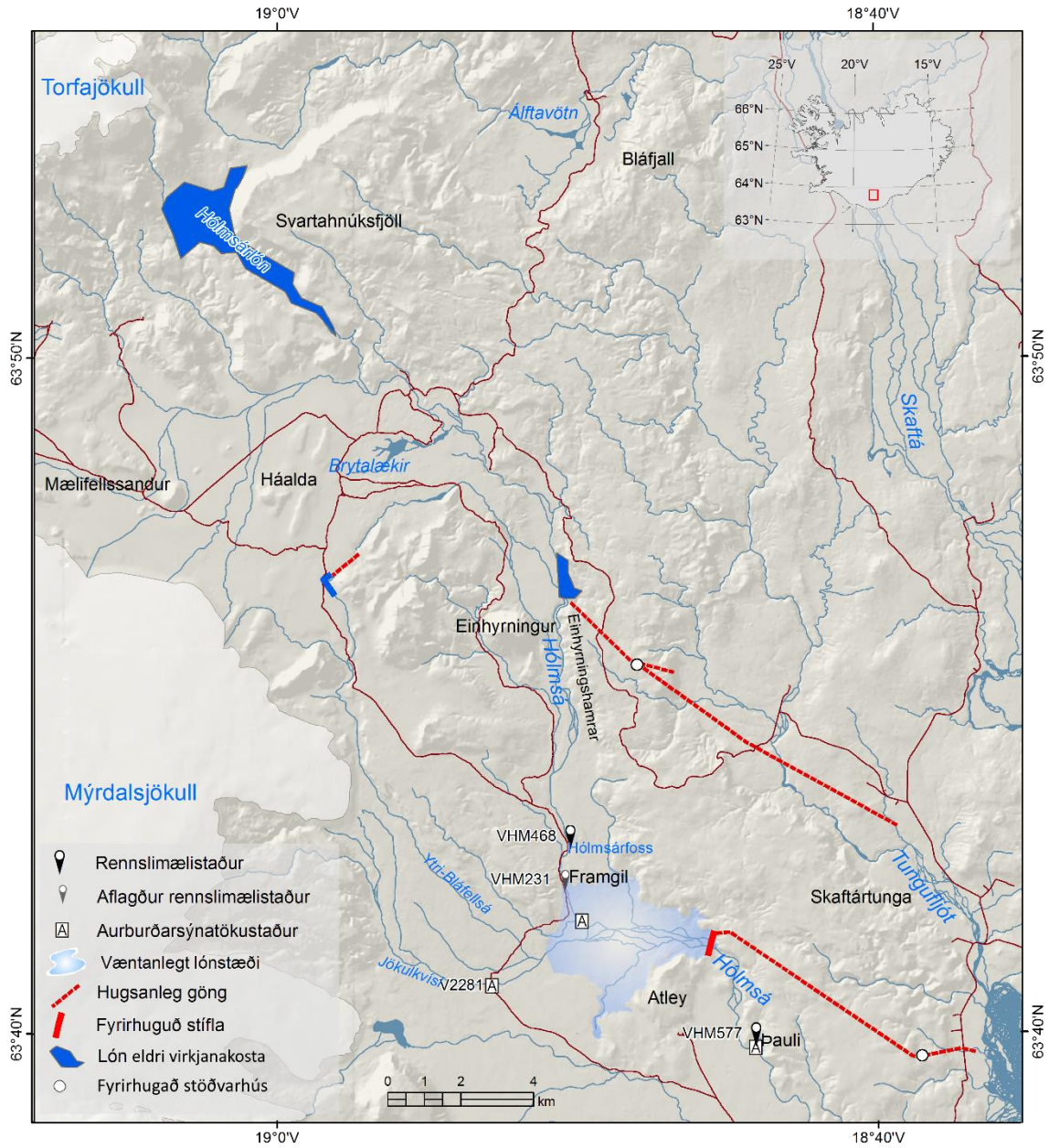
Fyrri hugmyndir gerðu ráð fyrir að virkja Hólmsá og veita henni yfir í Tungufljót og í 1. áfanga rammaáætlunar um nýtingu vatnsorku og jarðvarma var gert ráð fyrir stíflu ofan við Einhyrningshamra (Mynd 2). Lítil sem engin gögn um aurburð í efri hluta Hólmsár lágu fyrir þegar forkönnun á virkjun í Hólmsá var gerð árið 2002. Í framhaldi af því voru tekin aurburðarsýni af svæðinu ofan við ármótin þ.e. við Framgil, fram til sumarsins 2009 (sýnatökustaður [A] á Myndum 1 og 2). Niðurstöður útreikninga á þeim sýnum sem þar voru tekin birtast í eldri skýrslum (Jórunn Harðardóttir o.fl. 2003, 2004 og 2005, Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2014). Samantekt rannsókna leiddi í ljós að heildarframburður við Framgil reiknast 0,49 milljónir tonn á ári og þar af er hlutur skriðaus um 8% en 44% svifausframburðar er fínefni (<0,002–0,2 mm) (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2014).

Nú er uppi tillaga um virkjun í Hólmsá með miðlunarlóni við Atley (Verkís 2013) og í ljósi þeirra hugmynda var farið að safna sýnum neðar í vatnasviðinu, þ.e. við Þaula. Vegna breytinga á farvegi Hólmsár á tímabilinu 2009–2010 sem leiddu til skemmda á sýnatökustaðnum við Framgil árið 2010, var sýnataka alfarið færð niður að mælistaðnum við Þaula (Myndir 1 og 2) (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2014).

Frá haustinu 2013 hafa verið tekin sýni af brúnni yfir Jökulkvísl til að fá betri mynd af framburði sem kæmi inn á væntanlegt lónstæði. Á myndum 1 og 2 er svæði sem færi undir vatn miðað við lónshæð í 172 m teiknað með ljósblárrí skyggingu (Verkís 2013). Þetta „lónstæði“ er reiknað út frá landlíkani ÍSOR frá 2008 (Skúli Víkingsson, 2008) og því er einhver munur á þessum útlínunum og þeim sem birtast í skýrslu Verkís frá árinu 2013.

Í skýrslunni eru teknar saman niðurstöður fyrir svifaus- og skriðausframburð í Hólmsá við Þaula fyrir árin 2009 til 2013 og reynt að meta hlutfall skriðausframburðar af heildaraurburði. Sett er fram yfirlit yfir kornastærð bæði svifaus- og skriðausssýna sem tekin voru á þessum árum. Frekari upplýsingar um einstök sýni er að finna aftast í viðauka en nánari upplýsingar um framburð í Hólmsá úr eldri rannsóknum má sjá í fyrri skýrslum (Jórunn Harðardóttir o.fl. 2003, 2004 og 2005, Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2014).

Útgáfa þessarar skýrslu hefur tafist vegna þess að vilji var til að gæta samræmis milli niðurstöðu framburðarútreikninga í Þaula og Jökulkvísl og nýjar upplýsingar komu fram sem þóttu mikilvægar. Framburðarheimtur Jökulkvíslar voru skoðaðar sérstaklega og eru niðurstöður þeirra ransókna birtar í viðauka í skýrslunni “Mælingar á aurburði og rennsli í Jökulkvísl árin 2013–2014” (Esther Hlíðar Jensen o.fl. 2016).



Mynd 2. Yfirlitskort af svæðinu með rennslímæli- og sýnatökustöðum ásamt gömlum og nýjum virkjanahugmyndum úr skýrslu Verkís (2013).

2 Rennslismælingar í Hólmsá við Paula

Þann 20. september 1984 var byrjað að mæla rennsli Hólmsár á Álftaversafrétti við Framgil með síritandi vatnshæðarmæli vhm 231 (Mynd 1) en frá og með vatnsárinu 2003/2004 tók vhm 468 við Hólmsárfoss við sem síritandi rennslismælistöð. Rekstur þeirra miðaði m.a. að því að finna rennsli til virkjunar þar sem inntak væri fyrir ofan fjallið Einhyrning og útrennsli í Tungufljót (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2014) (Mynd 1).

Ný virkjunaráform gera ráð fyrir að inntak Hólmsárvirkjunar verði við Atley en þar eru árnar Jökulkvísl og Bláfellsá komnar saman í Hólmsá.

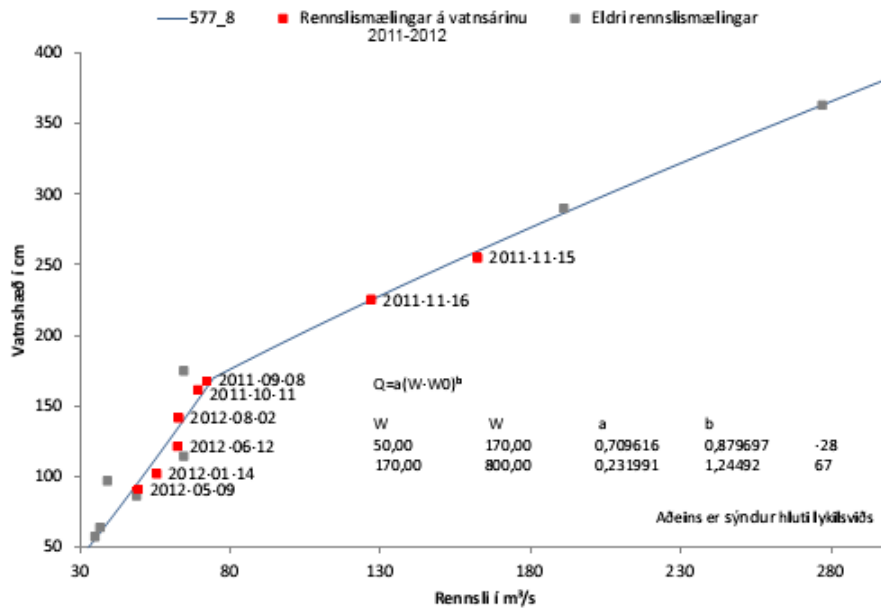
Mælistöðin í Hólmsá við Paula vhm 577 var því sett upp 17. september 2009. Henni er ætlað að mæla rennsli til Hólmsárvirkjunar með miðlunarlóni við Atley. Vatnahæðarmælirinn er staðsettur rúmum 3 km neðan við fyrirhugað inntak við Atley (Mynd 1) og er ekki er talið að vatn bætist í ána milli Atleyjar og Paula.

Miklir erfiðleikar hafa verið að fá heildstæða rennslisröð við Paula þar sem mikið botnskrið er í ánni sem breytir oft lögun þversniðsins á mælistað. Sú rennslisröð sem notuð er við útreikninga á framburði við Paula í þessari skýrslu byggir á lykklum í töflu 1 og Mynd 3. Eftir þann tíma hefur lykkill 10 verið búinn til og nú er svo komið að lykkill 8 hefur aftur verið tekinn í notkun. Í töflunni kemur fram dagsetning og tími gildistöku lykils, númer lykils, vatnshæð sem viðeigandi lykkill gildir fyrir, auk helstu kennistærða rennslislykla á forminu: $Q = a \cdot (W - W_0)^b$ (1), þar sem W_0 er viðmið fyrir vatnshæð þar sem rennslið er núll, W er mæld vatnshæð og a og b eru fastar.

Tafla 1. Rennslislyklar í Hólmsá við Paula sem notaðir voru við skýrslugerðina.

Dagsetning gildistöku	Lykil nr.	Hæð		Fastar		Rennsli 0
		frá cm	til cm	a	b	W_0
31.8.2009	V577_1	1	89	0,25172	1,12959	-20
		89	800	0,06948	1,43656	-9
25.2.2010	V577_8	50	170	0,709616	0,879697	-28
		170	800	0,231991	1,24492	67
14.10.2012	V577_9	10	178	0,42719	1	0,652873
		178	500	1,09833	1	109

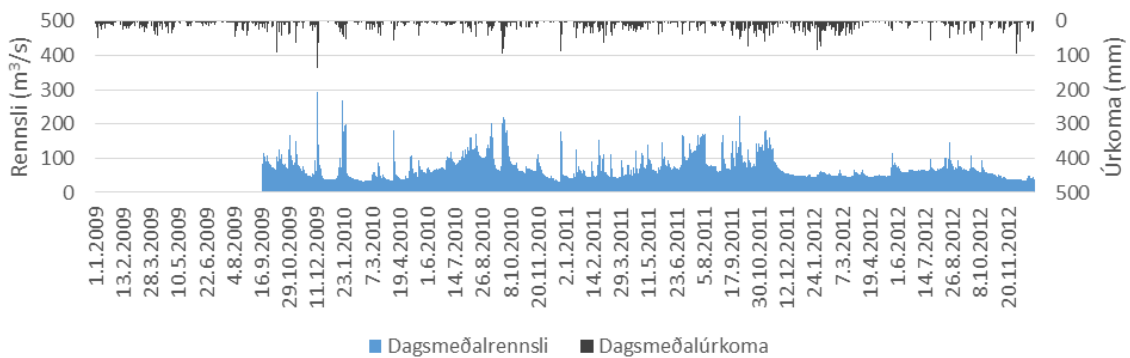
Vatnsárin 2009–2012 var meðalársrennsli við Paula (V577) 72,7, 71,8 og 70,2 m³/s. Til samanburðar var rennsli við V468 Hólmsárfoss á sama tíma 34,8, 39,4 og 38,9 m³/s. Árið 2013 var vatnsárið í fyrsta sinn reiknað frá 1. október til 30. september og var meðalrennslið 52,6 m³/s en 36,0 m³/s við Hólmsárfoss. Mismunur á rennsli við þessar stöðvar er athyglisverður. Hann er meiri en búist var við miðað við lítinn munur á stærð vatnasviða, sérstaklega síðsumars þegar jökulbráðnun stendur sem hæst. Þessi munur var þó staðfestur með mælingum sem gerðar voru veturinn 2010 á rennsli í ám sem renna í Hólmsá milli Paula og Hólmsárfoss. Við mælingarnar kom í ljós að innrennslið er allt ofan við Atley. Hlíðarárnar skiluðu samtals sama rennsli og mismunurinn var á milli stöðvanna þá stundina (Veðurstofa Íslands, 2010, 2011, 2012 og 2013).



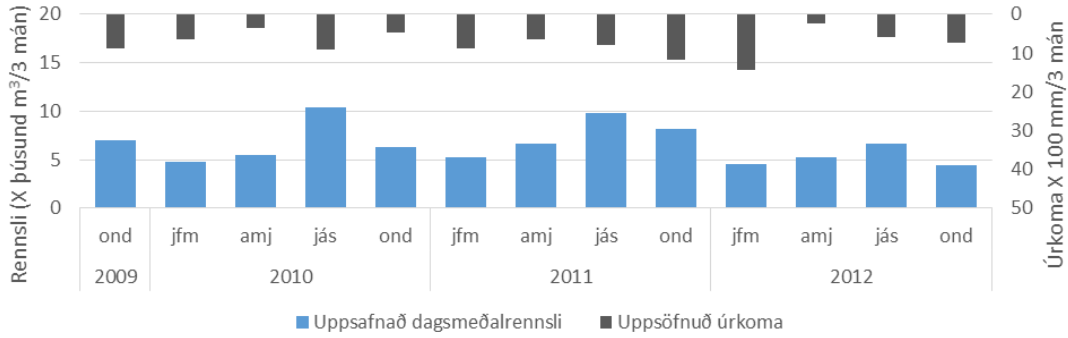
Mynd 3. Gildandi rennslislykill (577/8) og rennslismælingar á vatnsárinu 2011–2012.

2.1 Úrkoma og rennsli

Dagsmeðalúrkoma á vatnasviði Hólmsár við Þaula var tekin saman fyrir tímabilið 2009–2012 (Mynd 4). Endurbætt staðbundin brúunaraðferð var notuð til að reikna daglega úrkomu með 1 km upplausn fyrir tímabilið 1991–2012, út frá samanburði úrkomumælinga frá veðurathugunarstöðvum við úrkomukort sem gerð voru með LT líkani (Philippe Crochet o.fl., 2007; Philippe Crochet, 2013). Talið er að þessi aðferð nái betur að lýsa staðbundinni úrkomu betur en LT-líkanið.



Mynd 4. Dagsmeðalrennsli og dagsmeðalúrkoma á vatnasviði Hólmsár við Þaula á tímabilinu 2009–2012.



Mynd 5. Uppsöfnuð dagsmeðalúrkoma og uppsafnað dagsmeðalrennsli á þriggja mánaða tímabili frá 2009–2012. Ath. ekki var byrjað að mæla rennsli í Hólmsá við Paula fyrr en í september 2009.

Mynd 5 sýnir sömu gögn og á Mynd 4 nema að tímabilunum er skipt í þriggja mánaða tímabil (jfm=janúar, febrúar, mars; amj=apríl, maí, júní; jás= júlí, ágúst, september; ond=október, nóvember, desember). Sumarrennslið (jás) er í öllum tilfellum hæsta súla ársins en sama gildir ekki um uppsafnaða úrkomu. Seinni hluti vetrar 2011 og fyrri hluti vetrar 2012 voru mjög úrkomusamir en það skilaði sér ekki í rennsli því að stór hluti úrkomunnar hefur verið í formi snævar. Vormánuðirnir 2012 (amj) voru í þurrasta lagi en samt er aukning í rennsli frá tímabilinu á undan (jfm). Rennsli var óvenju mikið sumarið (jás) 2010 en úrkoma var þó ekki yfir meðallagi. Skýringin á auknu rennsli má líklega rekja til aukinnar bráðunar vegna öskufalls frá Eyjafjallajökli. Askan breytir litnum á jöklinum þ.e. gerir hann dekkri sem eykur sólbráð ef öskulagið er ekki of þykkt. Aska vegna goss í Grímsvötnum í maí 2011 lagðist einnig yfir Mýrdalsjökul og reikna má með að hún hafi einnig haft áhrif á sumarbráðnunina. Það árið var sumarrennslið (jás) herra en árið á eftir en jafnframt var úrkoma meiri en sumarið 2012.

3 Aurburðarsýnataka og úrvinnsla

Ferðum inn að Hólmsá við Paula var skipt upp í tvenns konar ferðir, annars vegar "hefðbundnar" ferðir og hins vegar "atburðarferðir". Hefðbundnar ferðir voru farnar í tengslum við aðra mælingaleiðangra en atburðarferðir voru eingöngu vegna sýnasöfnunar í Hólmsá til að reyna að safna aurburði í flóðum. Með atburðum er átt við snörp rigningarflóð sem þekkt eru í Hólmsá og eru algeng allt árið um kring. Sérstaklega geta þau verið stór í miklum vetrarrigningum þegar snjóþekja er á jörð en reiknað er með að í þessum flóðum skili sér mikill aur niður ána. Þessir atburðir standa oft aðeins 1–2 daga og jafnvel skemur. Til að ná að safna sýnum úr slíkum atburðum þarf því að bregðast skjótt við og vera kominn á staðinn eins fljótt og auðið er. Í slíku flóði færðist Jökulkvíslin til á aurkeilunni og braut sér leið út í Hólmsá ofan við "gamla" sýnatökustaðinn við Framgil. Við það færðist aurburðarsýnataka í Hólmsá alfarið á kláfinn við Paula.

3.1 Framgangur mælinganna

Hefðbundnar ferðir sem farnar voru á tímabilinu tóku alla jafna einn dag. Atburðarferðir stóðu yfirleitt í þrjá daga með ferðum, og var miðað við að sýnatöku væri dreift á tvo daga. Tafla 2 sýnir yfirlit yfir ferðir sem farnar voru á tímabilinu 2009–2013.

Tafla 2. Fjöldi og gerð aurburðarsýna sem tekin voru í Hólmsá við Þaula árin 2009–2013.

Dagsetning	Tegund ferðar	Fjöldi svifaurs-sýna	Fjöldi skriðaurssýna	Greind skriðaurssýni
12. desember 2009	A	2	31	8
13. desember 2009		2	28	7
17. desember 2009	H	2	28	5
21. janúar 2010	A	1	30	7
22. janúar 2010		2	43	8
30. september 2010	A	2	46	7
1. október 2010		2	14	7
16. desember 2010	H	2		
29. desember 2010	H	1	27	5
8. september 2011	H	1	31	6
11. október 2011	H	1	27	6
15. nóvember 2011	A	2	33	7
16. nóvember 2011		2	20	7
14. janúar 2012	H	2	27	5
12. júní 2012	A	2	32	6
2. ágúst 2012	A	2	25	6
17. desember 2012	H	2	27	5
18. desember 2012		2	25	5
20. ágúst 2013	H	2	29	6
26. september 2013	H	2	24	5
18.-19.12.2013	H	2	38	6
Alls aurburðarsýni		38	585	124

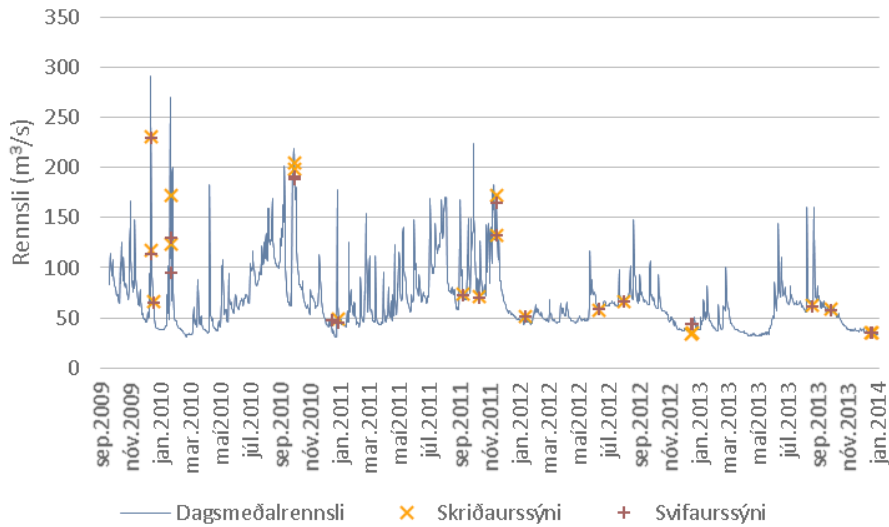
* Ekki tókst að rennslismæla. ** Botnskriðsmæling gekk erfiðlega vegna krupa og grunnstinguls.

Farnar voru sex atburðaferðir (A) og tíu hefðbundnar ferðir (H) á tímabilinu frá september 2009 til desember 2013. Í einni ferð tókst ekki að rennslismæla og í annarri ferð gekk erfiðlega að safna skriðaur vegna grunnstinguls. Einnig hefur stundum gengið erfiðlega að safna skriðaur í miklu rennsli því pokinn í sýnatakanum fyllist mjög fljótt en nánar verður fjallað um það í kafla um skriðaursmælingar.

3.2 Tímasetning aurburðarsýna miðað við rennsli

Í ferðum á tímabilinu 2009–2013 voru tekin 38 svifaurs-sýni úr Hólmsá við Þaula og 585 skriðaurssýni með vökvadrifnu spili af kláfi við Þaula (Tafla 2). Rennslið við Þaula var nokkuð breytilegt þegar þessi sýni voru tekin eins og sést á Mynd 6. Þar kemur fram

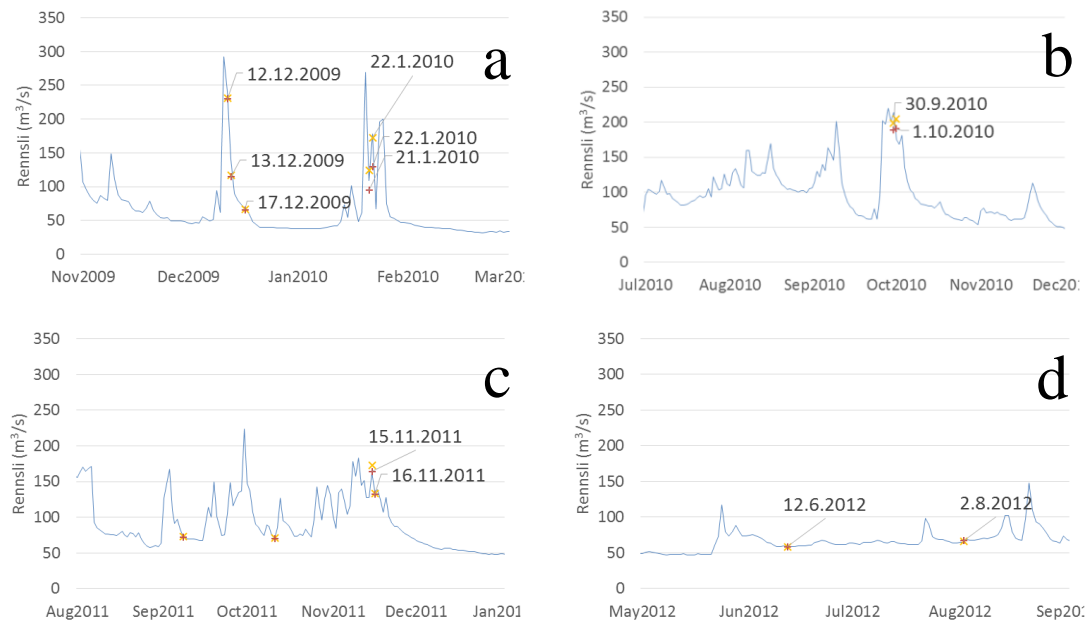
dagsmeðalrennsli alls tímabilsins en einnig mælt rennsli við sýnatöku, merkt sem skriðaurssýni- og svifaurssýni.



Mynd 6. Rennsli Hólmsár við Paula, reiknað út frá gögnum V577 og tímasetning töku svifaurssýna (rauðir krossar) og skriðaurssýna (gul x).

Líkt og Mynd 6 sýnir var sýnum safnað úr fjórum flóðum en í tveimur atburðarferðum, sem farnar voru í júní og ágúst 2012 náðist ekki að að taka sýni úr flóðinu eða minna varð úr flóðunum en gert var ráð fyrir. Myndin sýnir einnig að ekkert af sýnunum var tekið við rennsli hærra en dagsmeðalrennsli og flóðtoppurinn er alltaf hærri en dagsmeðalrennsli þ.a.l. voru engin sýni tekin í hámarki flóðanna.

Á Mynd 7 a-d sést nánar hvernig sýnataka úr atburðarferðum tengist dagsmeðalrennsli við Paula.



Mynd 7a-d. Rennsli Hólmsár við Paula í atburðarferðum ásamt mældu rennsli við sýnatöku svifaurssýna (rauðir krossar) og skriðaurssýna (gul x).

Myndin sýnir að með einni undantekningu fór sýnataka fram eftir að flóðtoppi var náð (Mynd 7b, c og d). Flóðið í janúar 2010 hafði þrjá flóðtoppa (Mynd 7a), þann fyrsta 20. janúar, annan 22. janúar og þriðja 25. janúar. Sýnum var safnað 21.–22. janúar og því er hluti sýnanna tekinn í lok fyrsta og í upphafi annars flóðtopps.

3.3 Svifaurssýni

3.3.1 Sýnataka og kornastærðargreining

Á tímabilinu 2009–2013 voru tekin 38 svifaurssýni úr Hólmsá og voru öll sýni tekin með S49 sýnataka á þremur eða fleiri stöðum yfir þversniðið (svokölluð S1 sýni) (Svanur Pálsson & Guðmundur H. Vigfússon, 2000).

Svifaurssýni sem tekin voru á tímabilinu 2009–2013 voru kornastærðargreind á aurburðarstofu VÍ, en auk kornastærðar var mældur heildarstyrkur svifaurs og styrkur uppleystra efna (TDS). Eins og í fyrri svifaurssýnum var fíngræðasti hluti sýnanna (<0,063 mm) kornastærðargreindur með setvogarmælingu en grófara efni með sigtun. Kornastærðarlínuritum sýnanna var skipt upp í fimm flokka til að einfalda úrvinnslu gagnanna og eru þeir sýndir í töflu 3:

Tafla 3. Kornastærðarflokkar svifaurs.

Kornastærðarflokkur	Kornastærð (mm)
Sandur	>0,2
Grófmór	0,2–0,06
Fínmór	0,06–0,02
Méla	0,02–0,002
Leir	<0,002

3.3.2 Svifaurslyklar

Til að reikna út hve mikið berst fram af svifaur á sýnatökustað á tilteknu tímabili eru búnir til svokallaðir svifaurslyklar, þ.e. sambandið milli rennslis og svifaursframburðar er fundið. Lykillinn er á eftirfarandi formi þar sem q_s er svifaursframburður í kg/s, Q er rennsli í m^3/s , en k og n eru aðhvarfsstuðlar, k hlutfallsstuðull og n veldisvísir:

$$q_s = k \times Q^n \quad (2)$$

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 töluvert 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 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 nærri hæsta dagsmeðalrennsli 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 hærri veldisvísi en 3 eru varasamir því þeim hættir til að gefa of mikinn aur við hárennsli og þar sem stuðlarnir hafa gagnverkandi áhrif hvor á annan of lítinn aur við lágrennsli. Algengt er að veldisvísirinn sé nálægt 2 í góðum lyklum. Trúverðugir veldisvísar eru á bilinu 1,5–3.
- Óheppilegt er að einstakir mælipunktur skeri sig mjög úr, sérstaklega þegar lykkillinn byggist á fáum sýnum. Slíkum punktum gæti verið rétt að sleppa í sumum tilfellum.

Lyklarnir eru notaðir til að reikna svifaurinn fyrir hvern dag fyrir sig út 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 árstímum eru kallaðir árslyklar. Ef sýnafjöldi leyfir er sýnunum skipt niður í árstíðir og reiknaðir sérstakir árstíðalyklar fyrir hvora eða hverja árstíð fyrir sig. Oft eru sumarsýni hlutfallslega fleiri en vetrarsýni miðað við fjölda mánaða sem getur verið af ýmsum ástæðum t.d. verra aðgengi á vetrum. Þegar sumarrennsli er herra en vetrarrennsli, sem gjarnan er í jökulmiðluðum ám, má því gera ráð fyrir að meiri framburður reiknist samkvæmt árslykli en samanlögðum árstíðalyklum. Hins vegar er rennsli og framburður vetrarmánaðanna þá oft einsleitara en sumarmánaðanna og því ekki þörf á jafnmörgum sýnum til að lýsa tímabilinu.

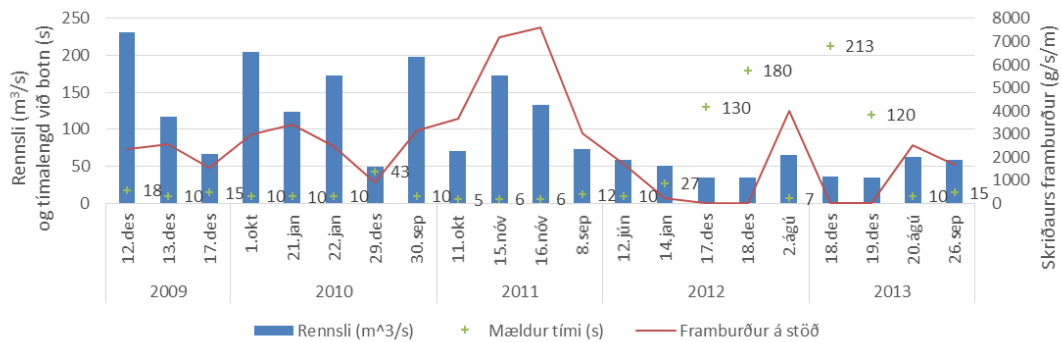
Rofnæmi og rofmætti má lesa út úr stuðlum jöfnu (2) (Morgan, 1995; Asselmann, 2000). Hátt gildi hlutfallsstuðulsins k bendir til að á vatnasviðinu sé mikið veðrað efni, sem flyst auðveldlega og því talað um hátt rofnæmi. Hátt gildi veldisvísisins n bendir til mikillar aukningar í rofmætti með auknu rennsli, þ.e. rofkraftur árinna vex hratt. Hins vegar hafa stuðlarnir gagnverkandi áhrif hvor á annan og því er betra að skoða halla kúrfunnar. Brött kúrfa þ.e. lágt k og hátt n ætti að vera einkennandi fyrir vatnsfall með lítinn framburð við lágt rennsli sem eykst mikið við aukið rennsli. Flöt kúrfa ætti að einkenna vatnsföll þar sem auðrofið efni er í vatnasviðinu, sem getur flust við nánast hvaða rennsli sem er (Asselmann, 2000). Þessi atriði eru eingöngu til viðmiðunar en skoða verður hvert vatnsfall og sýnatöku sérstaklega því önnur áhrif geta verið mikilvæg s.s. stíflumannvirki sem og náttúrulegar breytingar á vatnasviðinu.

3.4 Skriðaurssýni

3.4.1 Sýnataka og kornastærðargreining

Alls voru tekin 585 skriðaurssýni af kláfnum við Paula með vökvadrifnu spili. Af þessum sýnum voru síðan 124 sýni kornastærðagreind á aurburðarstofu Veðurstofunnar.

Skriðaurssýni voru tekin með Helley Smith skriðaurssýnataka af kláfi við Framgil með vökvadrifnu spili. Sýnatakinn vegur um 48 kg og er með 3×3" (ca. 7,6×7,6 cm) sýnatökuopi og 3,22 stækkunarhlutfalli. Sýnatakinn var látinn síga niður á botn árinna á ákveðnum stöðum og látinn sitja þar í fyrirfram ákveðinn tíma. Tímalengd sýnatakans við botn var háð rennsli og framburði og getur því verið breytileg milli sýnatökumferða (Mynd 8). Þessi tímalengd er mjög breytileg við Paula eða frá 5–300 sek. Fylgni rennslis er í öfugu hlutfalli við tímalengd sýnataka við botn, þ.e. með auknu rennsli styttest tímalengdin og sama á við um fylgni skriðaursmagns og tímalengdar.



Mynd 8. Meðaltímalengd sýnataka við botn, mælt meðalrennsli og meðalframburður á stöð hvern sýnatökudag. X-ás sýnir sýnatökudag og ártal.

Til að gæta samræmis var reynt að taka sýni á sama lengdarbili í þversniðinu í öllum sýnatökufurðum, þ.e. á 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 og 50 m miðað við að 0 m séu við hægri bakka árinna (Tafla 4). Tafla 4 sýnir dagsetningu sýnatöku, stöðvanúmer (staðsetning á þversniði), fjölda sýna ásamt reiknuðu meðalrennsli sýnatökunnar og staðalfrávik rennslisins. Þar sem staðalfrávik var hátt þurfti að skipta sýnatökunni upp í rennslisbil en aðstæður hverju sinni, þ.e. magn skriðaus, tímalengd mælingarinnar o.s.frv., hafa áhrif á hversu hátt staðalfrávik þarf að vera til að ákveðið var að skipta sýnunum upp.

Tafla 4. Staðsetning og fjöldi skriðaurssýna úr Hólmsá við Paula árin 2009–2013 ásamt meðalrennsli með staðalfrávik þegar sýnin voru tekin. Meðalrennslið er reiknað út frá vatnshæðargögnum frá síritanum (V577) og rennslislykli. Skyggðar línur tákna atburðarferðir.

Dagssetning	Stöðvar (m)	Fjöldi sýna	Meðal Rennsli (m³/s)	Staðalfrávik
12.12.2009	20;25;30;35;40;45;50	31	231	3,1
13.12.2009	20;25;30;35;40;45;47,5	28	117	2,73
17.12.2009	15;20;25;30;35;40;45	28	67	0,85
21.1.2010	15;20;25;30;35;40;45	30	124	11,36
22.1.2010	15;20;25;30;35;40;45	43	172	72,91
30.9.2010	15;20;25;30;35;40;45	14	205	3,96
29.12.2010	15;20;25;30;35;40;45	27	49	0,25
30.12.2010	10;15;20;25;30;35;40;45;50	46	198	24,25
8.9.2011	15;20;25;30;35;40;45	31	73	0,43
11.10.2011	15;20;25;30;35;40;45;50	27	71	1,26
15.11.2011	12,5;13;17,5;18;22,5;23;27,5;28;32,5;33;37,5;38;42,5;43;47,5;48	33	173	11,12
16.11.2011	18;23;28;33;38;43;48	20	133	4,7
14.1.2012	15;20;25;30;35;40;45	27	51	0,43
12.6.2012	15;20;25;30;35;40;45;50	32	58	0,15
2.8.2012	5;10;15;20;25;30;35	25	66	2,89
17.12.2012	15;20;25;30;35;40;45	27	34	0,07
18.12.2012	20;25;30;35;40	25	35	0,08
20.8.2013	20,25,30,35,40,45	29	62,3	1,9
26.9.2013	15,18,21,24,27,30,32,34	24	58,2	0,2
18.12.2013	15,20,25,30,35,40,45	38	35	0,16

Rennsli þegar sýnatakan fór fram var mjög breytilegt eða frá 34 m³/s og upp í 231 m³/s (Mynd 6 og Tafla 4). Breytileiki innan hverrar sýnatöku var mismikill en mestur var hann í atburðarferðum og er sýnum úr nokkrum þeirra raðað á fleiri en eitt rennslisbil. Til að mynda var sýnatökunni 21. janúar 2010 skipt í tvö rennslisbil, en daginn eftir þann 22. í fjögur rennslisbil. Þann 30. september 2010 voru notuð þrjú rennslisbil og þann 15. nóvember 2011 var sýnatökunni skipt í tvö rennslisbil. Árin 2012 og 2013 er eitt rennslisbil fyrir hverja sýnatöku.

Skriðaurssýnin sem valin voru til kornastærðargreininga voru fyrst þurrkuð við 60°C áður en þau voru sigtuð í gegnum sigti með möskvastærð sem hljóp á 0,5 ϕ (phi). Til þess að einfalda tölfræðilega útreikninga á kornastærð skriðausins var ϕ -kvarðinn notaður, en ϕ -gildi eru reiknuð á eftirfarandi hátt (Boggs, 1995):

$$\phi = -\log_2(d)$$

þar sem d er þvermál korna í mm. Tafla 5 sýnir samanburð á stærðum í mm og stærðum í ϕ .

Tafla 5. Samanburður stærða í mm og í ϕ -gildum og heiti kornastærðarflokka samkvæmt Udden-Wentworth kvarða.

mm	ϕ	U.W. heiti	mm	ϕ	U.W. heiti	mm	ϕ	U.W. heiti	mm	ϕ	U.W. heiti
256	-8	Hnullungar	11,2	-3,5	Meðalmöl	1,41	-0,5	Mjög grófur sandur	0,18	2,5	Fínsandur
64,0	-6	Steinar	8,00	-3		1,00	0		0,125	3	
44,8	-5,5	Mjög gróf möl	5,66	-2,5	Fínmöl	0,71	0,5	Grófsandur	0,088	3,5	Mjög fínn sandur
32,0	-5		4,00	-2		0,50	1		0,063	4	
22,4	-4,5	Grófmöl	2,83	-1,5	Mjög fín möl	0,35	1,5	Meðalsandur	<0,063	>4	Silt og leir
16,0	-4		2,00	-1		0,25	2				

Tölfræðilegir eiginleikar sýnanna voru reiknaðir út með afleiðuaðferð og er hér sýnt hvernig meðalstærð, aðgreining og skakki eru reiknuð.

$$\text{Meðalstærð} \quad \bar{x}_\phi = \frac{\sum fm}{n}$$

$$\text{Aðgreining} \quad \sigma_\phi = \sqrt{\frac{\sum f(m - \bar{x}_\phi)^2}{100}}$$

$$\text{Skakki} \quad \overline{Sk}_\phi = \frac{\sum f(m - \bar{x}_\phi)^3}{100\sigma_\phi^3}$$

þar sem f tákna þungaprósentu í hverjum kornastærðarflokki fyrir sig og m er miðja hvers kornastærðarflokks í ϕ . Afleiddir kornastærðareiginleikar voru eingöngu reiknaðir á efni stærra en 0,063 mm og því var efni sem kom í þönnu við sigtun sleppt. Í öllum nema fimm sýnum var þetta efni <1% af heildarþunga sýnisins og voru öll þau sýni tekin í sama atburðinum (Mynd 7b).

Meðalstærð tákna einfalt stærðarmeðaltal, en aðgreining sýnir í raun staðalfrávik gagnanna. Því betri sem aðgreiningin er, því lægra verður aðgreiningargildið, halli á safntíðniferlinum meiri og sýnið einsleitara að stærð. Skakki segir hins vegar til um lögum tíðniferils sýnisins hvað viðkemur ósamhverfu hans. Ef dreifing grófari hluta sýnisins er meiri en finni hluta þess er sagt að sýnið hafi “hala” af grófu efni og er talað um neikvæðan skakka. Jákvæður skakki gefur hins vegar til kynna að sýnið hafi “hala” af fínu efni og er þá skakkagildið tiltölulega há jákvæð tala.

3.4.2 Framburðarútreikningar

Heildarframburður skriðaus var reiknaður í þrepum. Fyrst var meðalframburður á hverri stöð reiknaður á eftirfarandi hátt:

$$\text{Meðalframburður á stöð } j: q_{bj} = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} \frac{M_i}{t_i d}$$

þar sem M_i er massi sýnis i (í grömmum), t_i er söfnunartíminn (í sekúndum) fyrir sýni i , d er þvermál sýnatökuopsins (0,0762 m) og n_j er heildarfjöldi sýna á stöð j .

Heildarframburður skriðaus gegnum þversniðið var síðan reiknaður með eftirfarandi jöfnu:

Heildarframburður gegnum þversnið:

$$Q_b = \frac{q_{b1}}{2} x_1 + \frac{q_{b1} + q_{b2}}{2} x_2 + \dots + \frac{q_{bn-1} + q_{bn}}{2} x_n + \frac{q_{bn}}{2} x_{n+1}$$

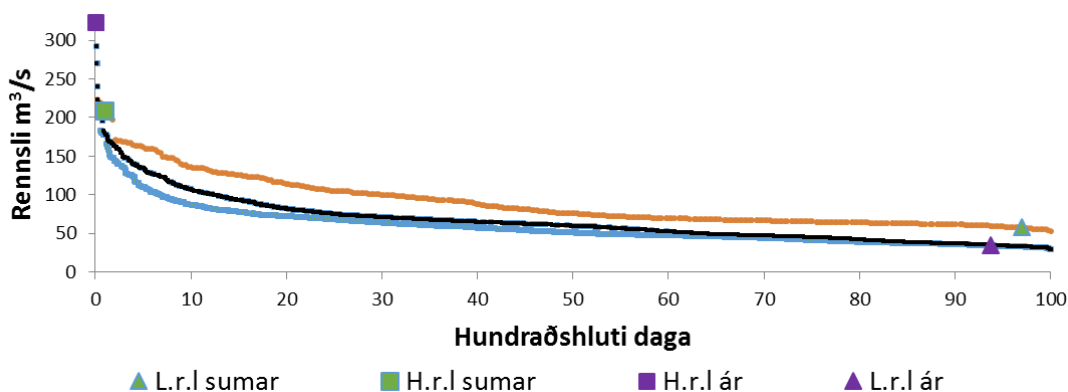
þar sem Q_b er í g/s og x merkir fjarlægð í m milli sýnatökustaða; á milli ysta sýnatökustaðar og vatnsbakka, eða þar sem straumur byrjar (World Meteorological Organization, 1994).

4 Niðurstöður aurburðarmælinga í Hólmsá við Þaula

Í kafla 1 kom fram að fyrri rannsóknir á aurburði hafa beinst að Hólmsá við Framgil. Vegna breytinga á farvegi Jökulkvíslar var sýnataka færð niður að Þaula. Í eftirfarandi köflum eru settir fram aurburðarlyklar til að meta framburð svifaurs og skriðaus í Hólmsá við Þaula fyrir tímabilið 2009 til 2013.

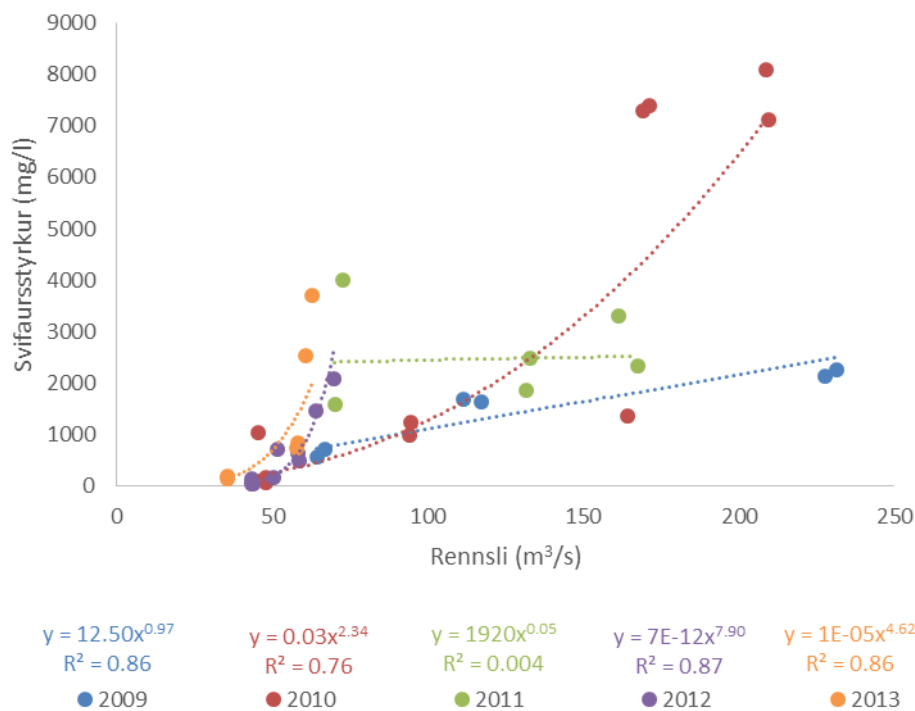
4.1.1 Niðurstöður svifaursmæling

Gífurlegur munur er á svifaurstyrk í Hólmsá við Þaula við mismunandi rennsli og samræmist það niðurstöðum fyrri rannsókna á Hólmsá við Framgil (Esther Hlíðar Jensen, 2014). Langmestur er styrkurinn í rigningarflóðum að hausti þegar jökulvatn er einnig til staðar en það er ólíkt niðurstöðum frá Framgili.



Mynd 9. Langæi dagsmeðalrennslis 2009–2013 ásamt hæstu og lægstu rennslisgildum lykla (h.r.l. = hæsta rennsli lykils, l.r.l. = lægsta rennsli lykils). Hæsta og lægsta rennsli vetrarlykils er sama og árslykils. Blá lína sýnir langæislínu vetrarrennslis og appelsínugul sumarrennslis.

Mynd 9 sýnir langæisferla fyrir árin 2009–2013. Þar sést að nokkur munur er á milli langæislínu sumar- og vetrarrennslis. Þegar sumarrennslid var skoðað sérstaklega kom í ljós að einungis 4% sumarrennslis er lægra en rennsli í sýnatöku að sumri. Sumarsýni spanna því nokkuð vel sumarrennslid. Fram kemur í kafla 3.3.2 að best er ef sýni eru tekin á því rennslisbili sem áin spannar til að ná að lýsa þeim breytileika á framburði sem á sér stað í áni. Tiltöluleg fá sýni hafa verið tekin við lágrennsli við Þaula en í kafla 3.3.2. kemur fram að rennsli og framburður jökuláa er oftast einsleitur í lágrennsli á veturnum þegar ekkert leysingarvatn kemur frá jöklinum. Rennsli við Þaula hefur hins vegar verið mjög breytilegt milli ára þann tíma sem um ræðir (2009–2013) eins og fram kom í kafla 2. Eldgosin tvö (2010 og 2011) juku einnig framboð efnis sem áin hafði til að flytja a.m.k. tímabundið. Í skýrslunni um heildarframburð Hólmsár við Framgil árin 2002–2009“ (Esther Hlíðar Jensen, 2014) kemur fram að nálæg eldstöðvakerfi hafi „sett af sér meira en einn metra af gjósku á vatnasvið Hólmsár síðan land byggðist“ (Guðrún Larsen, 2000; Páll Imsland 2013; Evgenia Ilyinskaya o.fl., í vinnslu) og er því um nokkuð flókið samband rennslis og framburðar að ræða. Mynd 10 skýrir þetta ágætlega þar sem sýnd eru vensl rennslis og svifaursstyrks hvers árs, fyrir öll svifaursýni sem tekin hafa verið við Þaula. Alls voru 38 sýni notuð fyrir árslykilinn, þar af 8 fyrir sumarlykilinn (júlí–september) og 30 fyrir vetrarlykilinn (október–júní) (Tafla 6 og Myndir 10, 11 og 12). Niðurstöður mælinga svifaursýna eru settar fram í töflu í Viðauka 1.

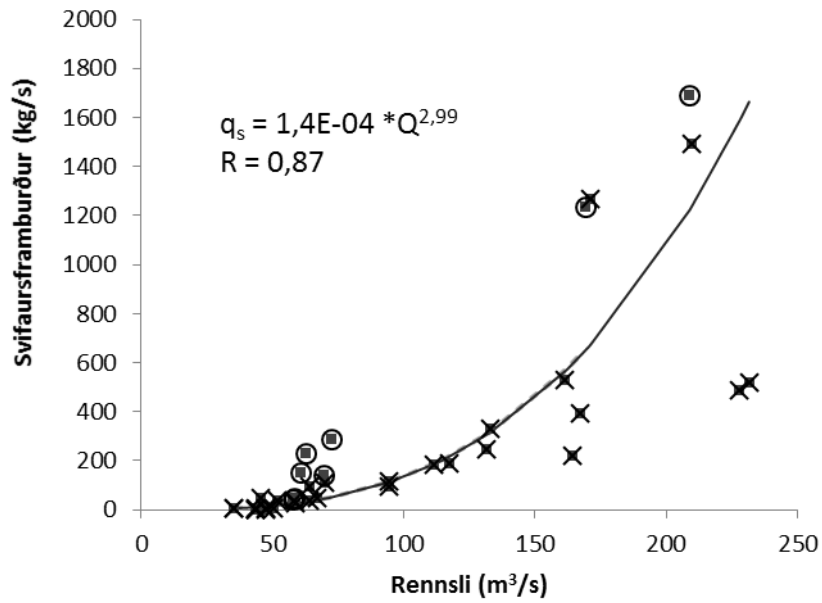


Mynd 10. Venzl heildarstyrks svifaurs og rennslis flokkuð eftir sýnatökuárum.

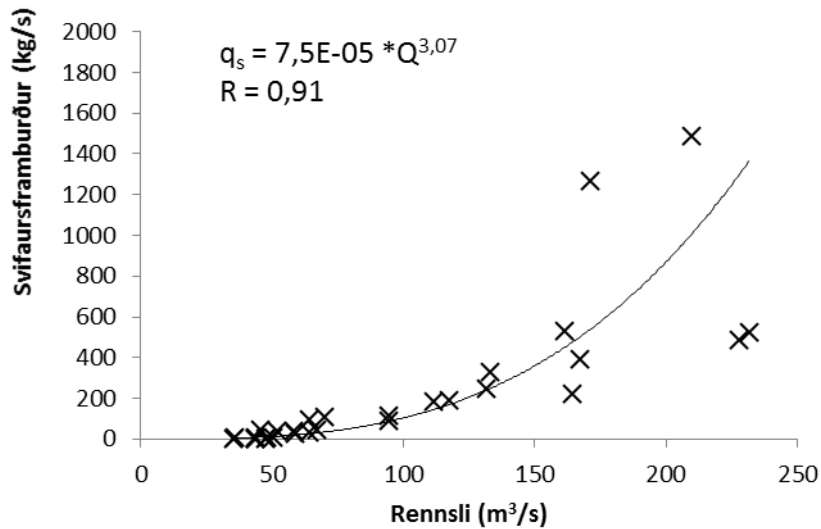
Helstu einkenni svifaurslykla má sjá í töflu 6 og Myndir 11–13. Þar er ekkert sem vekur sérstaka athygli nema hugsanlega hár hlutfallsstuðull sumarlykils. Hann bendir til þess að mikið efni sé til staðar sem flyst til við lágt rennsli, þ.e. rofnæmi er hátt. Fylgni er góð fyrir alla lyklna og veldisstuðlar eru háir en ekki nálægt því eins háir og við Framgil ofar í ánni (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2014). Háir veldisstuðlar koma fram þegar hluti sýnanna sem tekin er við lágt rennsli inniheldur mjög lítinn styrk eða sýni sem tekin eru við herra rennsli innihalda mjög háan styrk, þ.e. styrkur sýna eykst mikið með auknu rennsli. Eingöngu tíu sýni (26%) frá Þaula innihalda styrk lægri en 500 mg/l á meðan 55% sýna frá Framgili innihéldu lægri styrk en 500 mg/l. Þetta er athyglisvert í ljósi þess að aðeins átta sýnanna eru tekin að sumarlagi þegar jökulbráð á sér stað. Ofangreint sýnir að framburður við Þaula er stöðugri jafnvel að vetri til þegar jökulþátturinn er ekki til staðar og að meira framboð er af lausefnum en við Framgil.

Tafla 6. Helstu einkenni svifaurslyklanna. H.r.l. er hæsta rennsli lykils og L.r.l. er lægsta rennsli lykils.

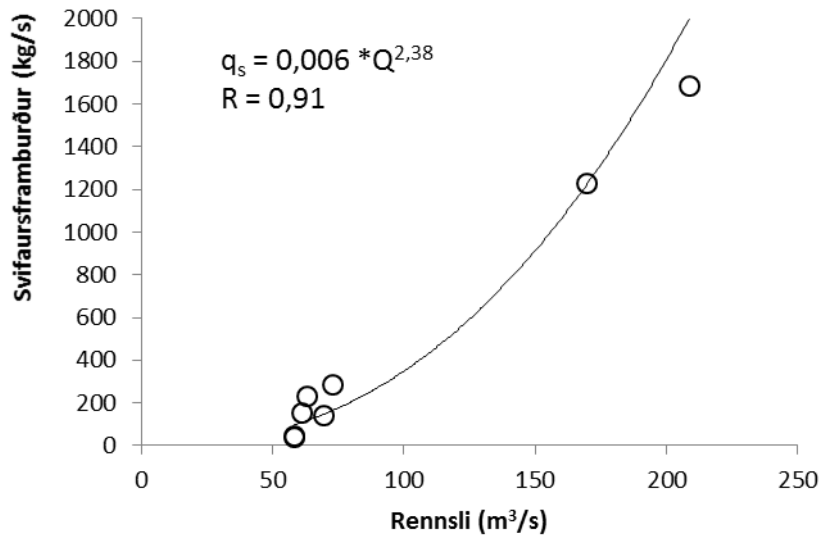
Staður	Tímabil	Árstíð	Sýna- fjöldi	H.r.l. m ³ /s	L.r.l. m ³ /s	Fylgni R	Hlutfalls- stuðull k * 10 ⁶	Veldisvísir n
Hólmsá		Sumar	8	209	57,9	0,91	6000	2,38
vhm577	2009–2013	Vetur	30	232	35,3	0,91	75	3,07
		Allt árið	38	232	35,3	0,87	140	2,99



Mynd 11. Svifurslykill fyrir Hólmsá við Paula 2009–2013. Sumarsýni eru merkt með hring og vetrarsýni með x-i.



Mynd 12. Svifurslykill fyrir vetrarsýni úr Hólmsá við Paula 2009–2013.



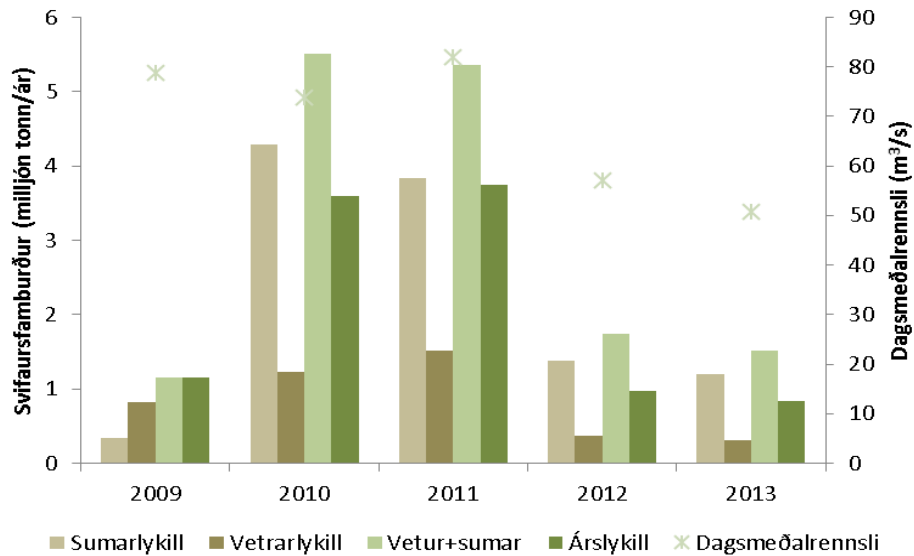
Mynd 13. Svifaurstrykill fyrir sumarsýni úr Hólmsá við Paula 2009–2013.

Tafla 7 og Mynd 14 sýnir heildarniðurstöður framburðarreikninga fyrir Hólmsá við Paula út frá ofangreindum svifaurstryklum. Samkvæmt ársstryklum var heildarframburður svifaur frá 0,83–3,74 milljón tonn á ári fyrir tímabilið 2009–2013. Árin 2010 og 2011 var sumarrennsli óvenjuhátt og framboð lausefna var mikið m.a. vegna eldgosa eins og áður var rætt. Útreikningar á framburði með sumarstrykli skila því meiri framburði fyrir sumartímann en ársstrykillinn fyrir allt árið. Samanlagðir árstíðarstryklar skiluðu því einnig meiri framburði öll árin eða um 55% meira magni 2012 og 2013 (Töflur 7 og 13). Þetta bendir til að sumarstrykillinn skili ofmati á framburði (3,53 milljón tonn á ári, þ.e. þrem mánuðum) en að sama skapi má reikna með að ársstrykillinn vanmeti meðalframburð (2,28 milljón tonn á ári).

Tafla 7. Framburður svifaur í Hólmsá við Paula árin 2009–2013.

Ár	Dagsmeðalrennsli ársins (m³/s)	Svifaur í milljónum tonna á ári samkvæmt			
		sumarstrykli	vetrarstrykli	sumar+vetur	ársstrykli
2009*	78,8*	0,34*	0,82*	1,16*	1,16*
2010	73,7	4,29!	1,22	5,51	3,60
2011	82,0	3,83!	1,52	5,35	3,74
2012	57,0	1,37!	0,37	1,75	0,97
2013	50,7	1,19!	0,31	1,51	0,83
Summa allra ára		11,03!	4,25	15,28	10,30
Meðalframburður svifaur á ári		2,67!	0,86	3,53	2,28
Hlutfall af heildarframburði				86%	79%

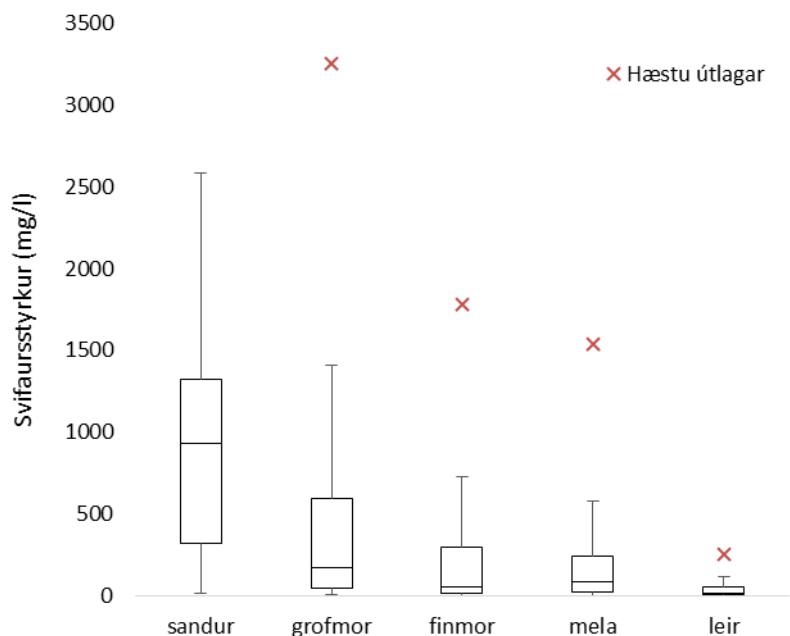
*Mælingar hófust í september 2009 og eru útreikningar þess árs ekki með í meðaltali.
!Framburður reiknaður með sumarstrykli er meiri en alls ársins reiknaður með ársstrykli.



Mynd 14. Samanburður á útreiknuðum ársframburði svifaurs árin 2009–2013, flokkaður eftir gerð lykla.

4.1.2 Kornastærðargreining svifaurs

Nokkur munur er á kornastærðardreifingu milli svifaurskýna frá Þaula. Mynd 15 sýnir kassagraf af dreifingu styrks eftir kornastærðarflokkum. Þar sést að stærstur hlutinn er sandur þar sem miðgildið er hæst en dreifing er líka mest innan sandflokksins og fer úr 17 mg/l í 2588 mg/l. Hæstu útgildin eru hins vegar í grófmónum þar sem styrkur fór uppí 3253 mg/l þann 1. október 2010.



Mynd 15. Kassagraf af dreifingu styrks svifaurs eftir kornastærðarflokkum. Hæstu útlagar eru sýndir með rauðum krossi.

Tafla 8. Einkenni svifaurslykla einstakra kornastærðarflokka fyrir sýni sem tekin voru árin 2009–2013.

Árstíð	Korna- stærð	Sýna- fjöldi	H.r.l. m ³ /s	H.dmr. m ³ /s	L.r.l. m ³ /s	Fylgni R	Hlutfallsstuðull k * 10 ⁶	Veldisstuðlar n
Sumar	sandur	8	209	214	57,9	0,84	1,5E-01	1,49
	grófmór					0,90	8,3E-05	3,00
	fínmór					0,84	2,3E-06	3,60!
	méla					0,92	1,2E-05	3,24!
	leir					0,59	1,2E-09	4,72!
Vetur	sandur	30	232	241	35,3	0,89	1,0E-04	2,88
	grófmór					0,93	1,5E-06	3,53!
	fínmór					0,93	3,2E-07	3,65!
	méla					0,90	3,0E-06	3,21!
	leir					0,62	5,9E-06	2,65
Allt árið	sandur	38	232	241	35,3	0,84	3,0E-04	2,69
	grófmór					0,88	2,7E-06	3,48!
	fínmór					0,87	4,1E-07	3,68!
	méla					0,87	3,6E-06	3,24!
	leir					0,59	1,6E-06	2,97

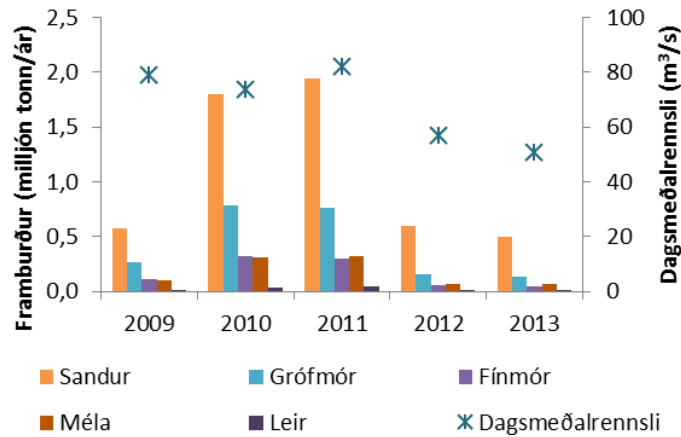
!Veldisstuðull er tortryggilega háir miðað við áður uppgöfin viðmiðunargildi (kafla 3.2.2.)

Veldisstuðlar í töflu 8 eru í mörgum tilfellum mjög háir, þ.e. hærri en þrír sem þýðir að framburður eykst mjög mikið með rennsli (kafla 3.3.2). Hlutfallsstuðlar sandlyklanna eru hærri en hinna og bendir til þess að nægt framboð sé af sandi. Veldisstuðlar sumar- og árslykla sands eru lægri en annarra lykla og má því álykta að sandur aukist ekki eins mikið með rennsli og aðrar kornastærðir. Samandregið benda veldisstuðlarnir til að mesta aukningin sé á kornastærðinni leir á sumrin en hins vegar sé samband rennslis og framburðar fyrir aðrar kornastærðir breytilegra. Þetta er eins og búast má við í jökulám þar sem leirinn kemur með sumarleysingunni. Til samanburðar má nefna að samskonar lykjar fyrir sýni frá Framgili hafa allt aðra eiginleika. Hlutfallsstuðlarnir þar eru flestir mun lægri og veldisstuðlarnir hærri, þ.e. ferlarnir eru almennt brattari sem bendir til mikillar aukningar á framburði með rennsli, sjá umfjöllun um lyklagerð í kafla 3.2.3. Mest allt set á vatnasviðinu er gjóska (Almenna verkfræðistofan og Orkustofnun, 2002, Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2014). sem er auðflytjanleg og brotnar auðveldlega niður í smærri kornastærðir sem skýrir breytileikann því kornin eru á mismunandi stað í ferlinu. Svo virðist sem efni sem berst fram í flóðum við Framgil, setjist að hluta til á svæðinu rétt ofan við Atley og valdi því að nægt framboð er af efni við Paula sem áin nær að rjúfa jafnt og þétt. Niðurstöður framburðarútreikninga með lyklum einstakra kornastærðarflokka auk útreikninga á árstíðarlyklum sömu flokka má sjá í töflu 9 og á Mynd 16. Í töflunni kemur fram svipuð niðurstaða og með heildarlyklana, þ.e. að sumarsvifaur skilar mjög miklum framburði en þó er framburður samanlagðra kornastærðarflokka fyrir sumartímann ekki hærri en meðalársframburður.

Tafla 9. Meðalframburður svifaurs skv. árslyklum einstakra kornastærðarflokka.

Ártal	Dagsmeðalrennsli (m ³ /s)	Heildarframburður svifaurs (kg/s)	Framburður (kg/s)					Summa kornastærðarflokka (kg/s)
			Sandur	Grófmór	Fínmór	Méla	Leir	
2009*	78,8*	1,16*	0,57*	0,27*	0,11*	0,10*	0,01*	1,07*
2010	73,7	3,60	1,80	0,79	0,32	0,32	0,04	3,26
2011	82,0	3,74	1,94	0,76	0,30	0,32	0,04	3,36
2012	57,0	0,97	0,59	0,15	0,05	0,07	0,01	0,88
2013	50,7	0,83	0,50	0,13	0,05	0,06	0,01	0,75
2010–2013								
Meðalársframburður		2,28	1,21	0,46	0,18	0,19	0,02	2,07
Sumarframburður		1,58	0,93	0,32	0,13	0,13	0,01	1,52
Vetrarframburður		1,54	0,86	0,30	0,11	0,12	0,02	1,41

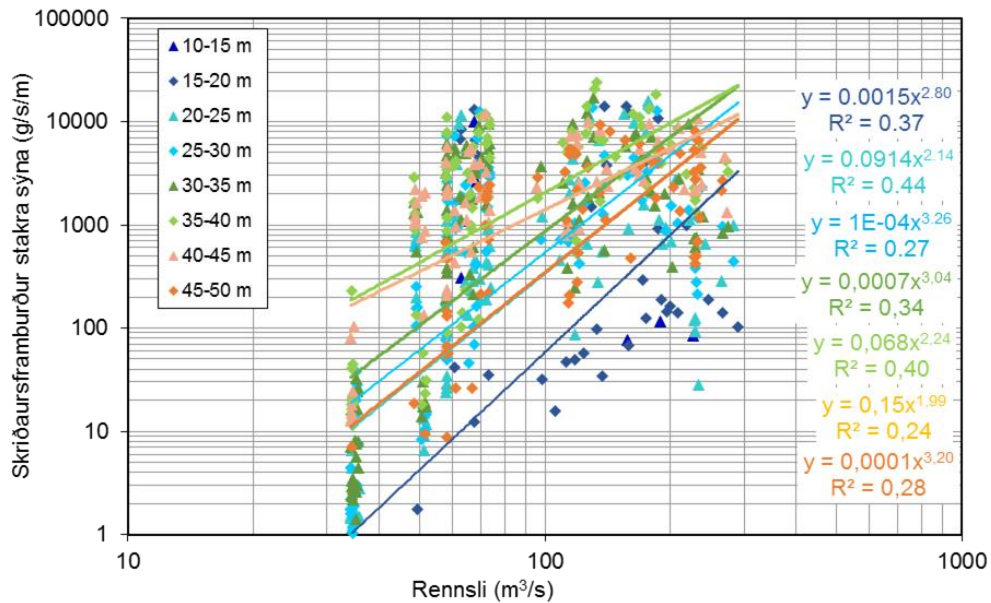
*Mælingar hófust í september 2009 og eru útreikningar fyrir það ár því ekki með í meðaltali.



Mynd 16. Meðalframburður svifaurs skv. árslyklum einstakra kornastærðarflokka.

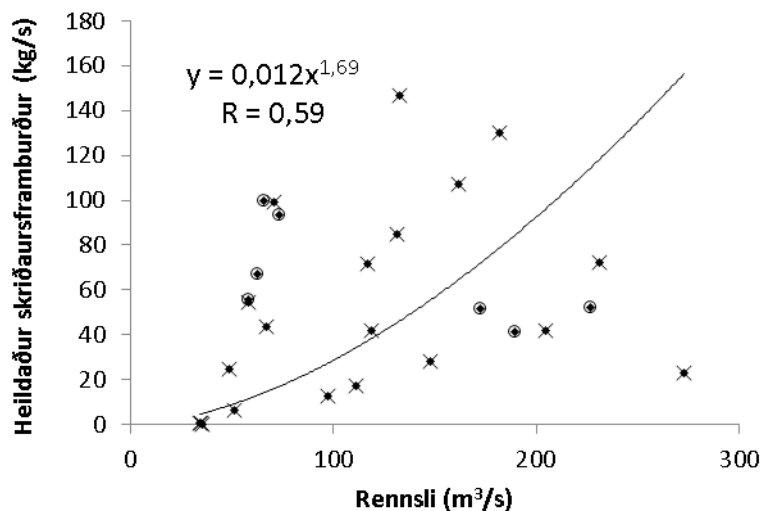
4.1.3 Niðurstöður skriðausmælinga

Botnskrið í Hólmsá var mælt á árunum 2009–2013 og má sjá yfirlit yfir fjölda sýna og hversu mörg þeirra hafa verið kornastærðargreind í töflu 2. Sýnunum var skipt upp í rennslisbil eftir dögum ef rennsli breyttist mikið innan hvers dags á meðan á sýnatöku stóð (sjá Viðauka 2). Skriðausframburður fyrir hverja stöð sem fall af rennsli er sýndur á Mynd 17. Sýnataka fór fram á mörgum stöðvum (Tafla 4) og því var ákveðið að flokka sýnin á ákveðin sýnatökubil. Leitnilínur fyrir hverja stöð voru reiknaðar.



Mynd 17. Skriðausframburður við Hólmsá, Paula, tímabilið 2009–2013, flokkaður eftir stöðvum á þversniði árinna.

Aðferðin við að reikna heildarframburð skriðaus fyrir hvert sýni byggir á því að heilda skriðaur fyrir hverja stöð í hverju rennslisbili og síðan er framburður allra stöðva lagður saman samkvæmt aðferð WMO sem fjallað er um í kafla 3.4 í þessari skýrslu (sjá einnig World Meteorological Organization, 1994). Gögnin eru síðan teiknuð upp á móti rennsli og leitnilína reiknuð, á forminu $q_s = k \times Q^n$ (2) eins og fyrir svifaur (sjá kafla 3.3.2). Niðurstöðurnar eru birtar á mynd 18.



Mynd 18. Skriðauslykill fyrir Hólmsá við Paula fyrir árin 2009–2013. Hringir tákna sumarsýni og x tákna vetrarsýni.

Heildarframburður skriðaus reiknaður út frá lykli er birtur í töflu 10. Heildarframburður skriðaus fyrir árin 2010 til 2013 reiknaðist á bilinu 0,31 til 0,71 milljónir tonn, eða 0,50 milljónir tonna að meðaltali fyrir allt tímabilið. Langminnstur var hann árið 2013 sem er sama árið og svifaursframburður reiknaðist minnstur.

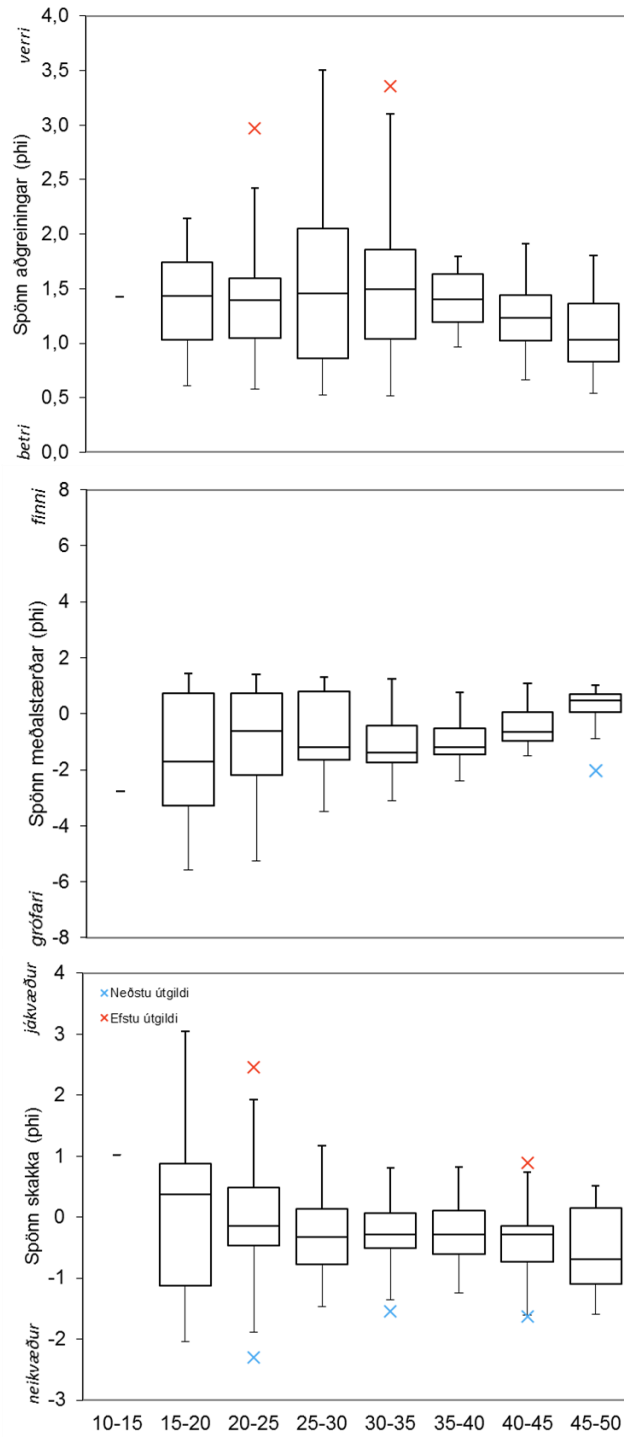
Tafla 10. Heildarframburður skriðaus í Hólmsá við Paula árin 2009–2013.

Ár	Dagsmeðal-rennsli (m ³ /s)	Skriðausframburður (milljón tonn/ár)	Hluttur skriðaus af heildarframburði
2009*	78,8*	0,19*	0,14*
2010	73,7	0,62	0,15
2011	82,0	0,71	0,16
2012	57,0	0,36	0,27
2013	50,7	0,31	0,27
Meðaltal 2010–2013		0,50	0,21

*Mælingar hófust í september 2009 og eru útreikningar þess árs því ekki með í meðaltali.

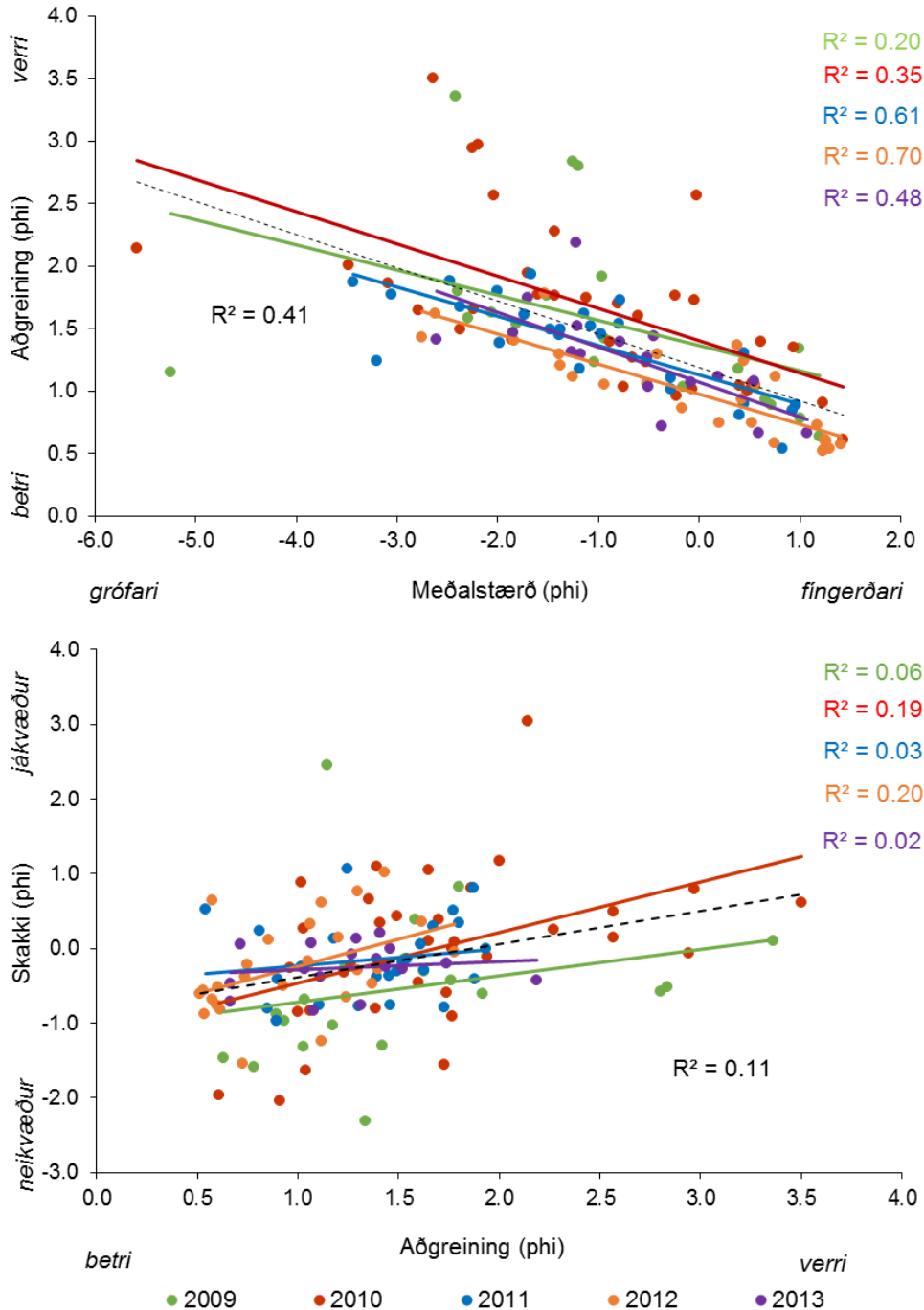
4.1.4 Kornastærðargreiningar skriðaus

Kassagröf af spönn meðalstærðar, aðgreiningar og skakka fyrir eintoppa sýni frá Paula má sjá á mynd 19. Myndin sýnir að fíngerðustu sýnin berast fram á stöðvum 45–50 næst vinstri bakka en dreifing meðalstærðar eykst með fjarlægð frá sama bakka. Við hægri bakka fór meðalstærðin frá því að vera möl, jafnvel alveg upp í mjög grófa möl (-5.5 phi) í tveimur sýnatökum, niður í mjög grófan sand (0,5 phi) á meðan sýni við vinstri bakkann eru frá sandi upp í fínmöl í einu sýni (-2 phi) en að mestu leiti er þar mjög grófur sandur. Sýni sem tekin eru úr miðjum farveginum eru sum hver sérlega illa aðgreind en flest sýnin eru illa aðgreind og með neikvæðan skakka (grófan hala). Hins vegar eru flest sýnin við hægri bakkann með jákvæðan skakka (fíngerðan hala).



Mynd 19. Kassagröf af kornastærðareiginleikum skriðaus, meðalstærð, aðgreiningu og skakka flokkað eftir stöðvum.

Mynd 20 sýnir vensl meðalstærðar og aðgreiningar (efri mynd) annars vegar og vensl aðgreiningar og skakka (neðri mynd) hins vegar, fyrir hvert ár fyrir sig. Þar sést að aðgreining verður betri eftir því sem kornastærð verður finni en fylgnin er mjög léleg sum árin. Eins er tilhneiging í þá átt að verr aðgreind sýni hafi jákvæðari skakka (fínan hala) en fylgnin er mjög lítil.



Mynd 20. Vensl meðalstærðar og aðgreiningar (efri mynd) og skakka og aðgreiningar (neðri mynd) í öllum skriðaurssýnum frá Hólmsá við Paula sem voru kornastærðargreind á tímabilinu 2009–2013.

4.2 Samanburður svifaurs og skriðaus

Heildarframburður Hólmsár við Paula er settur fram í töflu 11. Meðaltal heildarframburðar áráanna 2009–2013 er $2,79 \pm 1,79$ milljón tonn á ári. Tafla 11 sýnir líka skiptingu á milli svifaurs- og skriðausframburðar og reiknað hlutfall skriðaus af heildarframburði skv. bestu lyklum. Eins og sjá má er meðalframburður skriðaus frá 14 til 27% af heildarframburði áráanna, eða að meðaltali 21%.

Tafla 11. Svifaurs- og skriðausframburður á ári í Hólmsá við Paula.

Ár	Dagsmeðal- rennsli (m ³ /s) (m ³ /s)	Svifaursframburður (millj. t/ár) skv. árstíðarlyklum	Skríðausframburður (millj. t/ári) skv. heilduðum árslykli	Heildarframburður (millj. t/ári)	Hlutfall skríðaus af heildarframburði (%)
2009*	78,8	1,16*	0,19*	1,35*	14*
2010	73,7	5,51	0,62	4,22	15
2011	82,0	5,35	0,71	4,45	16
2012	57,0	1,75	0,36	1,34	27
2013	50,7	1,51	0,31	1,14	27
Meðaltal 2009–2013		3,53	0,50	2,79	21

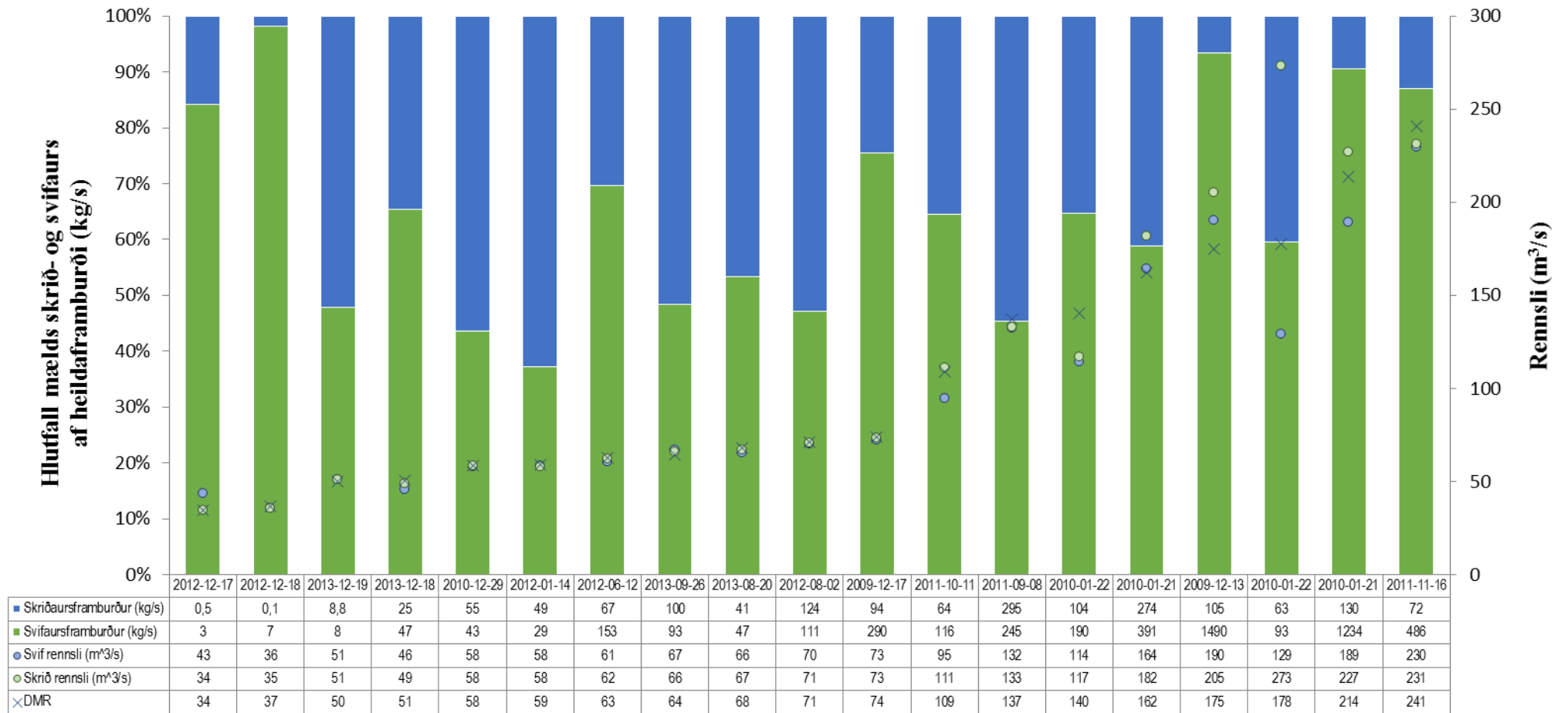
*Mælingar hófust í september 2009 og eru útreikningar þess árs því ekki með í meðaltali.

Svifaurskýni sem tekin voru samhliða skríðauskýnum úr Hólmsá við Paula, mynda pör sem nýtast til samanburðar á framburðarhlutfalli skríðaus og svifaurs af heildarframburði. Framburður svifaurs er reiknaður út frá hverju kýni og hann borinn saman við heildaðan skríðausframburð sem reiknaður var fyrir sama dag og svifaurskýnið var tekið (Mynd 23 og Tafla 12).

Mikill munur er á milli ferða hversu stór hluti skríðaur er af heildarframburði. Þann 18. desember 2013 var skríðaur aðeins 2% af heildarframburði, en 16% þann 17. desember 2012 við mjög svipað rennsli (svifaursstyrkur mældist mjög lágur báða þessa daga 185 g/l árið 2013 og 63 g/l árið 2012). Í tveimur sýnapörum til viðbótar reiknast hlutfall skríðaus um eða undir 10% en þau kýni voru tekin 30. september 2010 og 1. október 2010 þ.e í sömu ferðinni. Báða dagana var styrkur svifaurs mjög hár eða 8095 g/l (töflur sem sýna svifaursstyrk eru í Viðauka 1). Að meðaltali var hlutfall skríðausframburðar úr sýnatöku hins vegar 35% af heildarframburði, sem er talsvert hærra hlutfall en það sem reiknað er skv. aurburðarlyklum þ.e. að skríðaur er 21% heildarframburði.

Tafla 12. Samanburður svifaurs- og skriðausframburðar í sýnatökuferðum í Hólmsá við Paula 2009–2013. Raðað eftir hækkandi rennsli.

Dags	DMR (m ³ /s)	Svifaurs- framburður (kg/s)	Rennsli svifaurs- sýnataka (m ³ /s)	Skriðaus- framburður (kg/s)	Rennsli skriðaus- sýnataka (m ³ /s)	Heildar- framburður (kg/s)	Hlutfall skriðaus
2012-12-17	34	3	43	0,5	34	3	16
2013-12-18	37	7	36	0,1	35	7	2
2012-01-14	50	8	51	8,8	51	17	52
2010-12-29	51	47	46	25	49	72	35
2013-09-26	58	43	58	55	58	98	56
2012-06-12	59	29	58	49	58	78	63
2013-08-20	63	153	61	67	62	220	30
2012-08-02	64	93	67	100	66	193	52
2009-12-17	68	47	66	41	67	88	47
2011-10-11	71	111	70	124	71	235	53
2011-09-08	74	290	73	94	73	384	24
2010-01-21	109	116	95	64	111	179	36
2011-11-16	137	245	132	295	133	541	55
2009-12-13	140	190	114	104	117	294	35
2011-11-15	162	391	164	274	182	665	41
2010-10-01	175	1490	190	105	205	1595	7
2010-01-22	178	93	129	63	273	156	40
2010-09-30	214	1234	189	130	227	1364	10
2009-12-12	241	486	230	72	231	558	13
Meðaltal							35%



Mynd 23. Samanburður skriðaus- og svifaursframburðar í sýnatökuferðum í Hólmsá við Paula árið 2009–2013.

5 Samantekt

Síritandi vatnshæðarmælingar hófust í Hólmsá við Þaula í september 2009. Aurburðarsýni voru tekin í nokkrum flóðum en einnig á milli flóða á tímabilinu frá desember 2009 til desember 2013. Niðurstöður framburðarútreikninga svifaurs og skriðaus með mismunandi lykllum eru settar fram í töflu 13.

Tafla 13. Svifaurs- og skriðausframburður á ári í Hólmsá við Þaula.

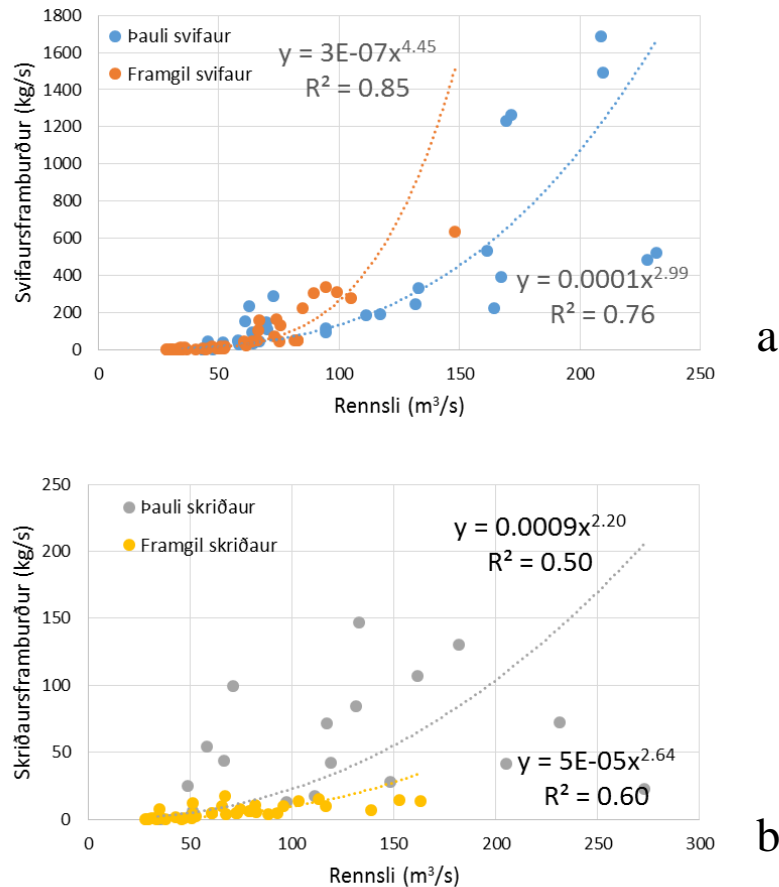
Ár	Dagsmeðalrennsli (m ³ /s)	Svifaursframburður (millj. t/ár) skv.		Skriðausframburður (millj. t/ári) skv.		Heildarframburður (millj. t/ár)	Hlutfall skriðaus af heildarframburði (%)
		Árstíðarlyklum	Árslykli	Heilduðum árslykli			
2009*	78,8*	1,16*	1,16*	0,19*		1,35	14*
2010	73,7	5,51	3,60	0,62		4,22	15
2011	82,0	5,35	3,74	0,71		4,45	16
2012	57,0	1,75	0,97	0,36		1,34	27
2013	50,7	1,51	0,83	0,31		1,14	27
Meðaltal 2010–2013		3,53	2,28	0,50		2,79	21
Til samanburðar; framburður í Hólmsá við Framgil							
2009	37,3	0,39	0,55	0,03		0,58	6
Meðaltal	2002–2009	0,42	0,45	0,04		0,49	8

*Mælingar hófust í september 2009 og eru útreikningar þess árs því ekki í meðaltali.

Heildarframburður er 2,79 milljón tonn á ári en svifaursframburður er samkvæmt lykli 2,28 og skriðaurinn 0,5 milljón tonn á ári. Þrjá meginfyrrvara verður að hafa á þessum niðurstöðum:

- Einhvern tímann á tímabilinu 2009–2010 ruddi Jökulkvísl sér leið ofan við kláfinn við Framgil og skemmdi hann og eftir það fór sýnataka eingöngu fram við Þaula. Breyttur farvegur Jökulkvíslar hefur það í för með sér að hún rífur meira fram úr núverandi farvegi en áður þar sem hún er að grafa sig niður.
- Þá ber að hafa í huga að Eyjafjallajökull gaus vorið 2010 og aska lagðist yfir Mýrdalsjökul. Þessi aska virðist hafa aukið sumarbráðnun það árið (Mynd 5). Grímsvötn gusu síðan vorið 2011 og enn lagðist aska yfir Mýrdalsjökul og jók á sumarbráðnun jökulsins.
- Árin 2012 og 2013 var úrkoma með minna móti og meðalrennsli varð talsvert minna en árin tvö á undan. Þar sem rennsli við Þaula hefur verið mjög breytilegt á mælitímabilinu og að auki lagðist aska yfir vatnasviðið sem jók tímabundið framboð lausefna eru tengsl framburðar og rennslis ekki eins mikil og vænst var til.

Samanburð á framburðarlyklum fyrir Framgil annars vegar og Þaula hins vegar má sjá á myndum 24 a og b. Þar kemur í ljós að við Þaula virðist vera jafnara framboð á svifaurs (minni halli á línu sjá kafla 3.3.2) og jafnvel meira en búist var við við lægra rennsli. Skriðauslyklarnir hafa óásættanlega fylgni og breytileiki því mikill á báðum stöðum en sýnu meiri við Þaula.



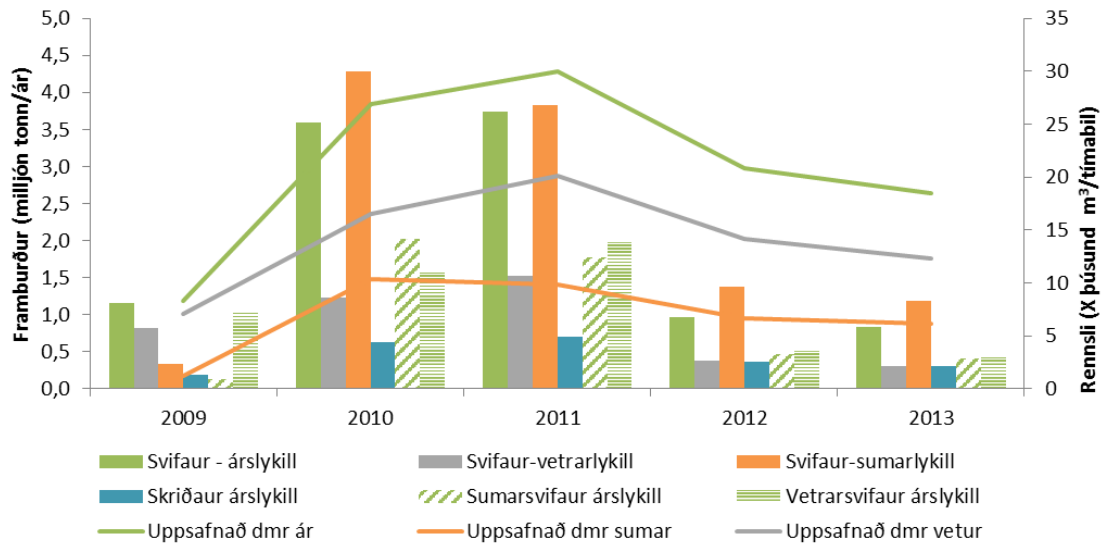
Mynd 24a og b. Svifurs- (a) og skriðurslyklar (b) fyrir Framgil 2002–2009 og Þaula 2009–2013.

Sumarrensli árin 2010 og 2011 var óvenjuhátt og framboð lausefna var mikið. Þetta olli því að útkoma úr reikningum með sumarlykli varð á þá leið að framburður sumars er meiri en alls ársins og samanlagðir árstíðarlyklar skiluðu því einnig meiri framburði öll árin eða nálægt tvöföldu magni 2012 og 2013 (Töflur 7 og 13 og Mynd 25). Líkur eru á að sumarlykillinn skili ofmati á framburði því samanlagðir árstíðarlyklar gefa 3,53 milljón tonn á ári eða 35% meira en árslykillinn. Að sama skapi má reikna með að árslykillinn vanmeti framburð (2,28 milljón tonn á ári).

Stærstur hluti svifursframburðarins er sandur (>0,2 mm) kringum 58% eða 1,21 milljón tonn á ári en samanlagðir svifursflokkar eru 2,07 milljón tonn á ári (Tafla 9). Fínefni (leir, méla og fínmór) reiknast um 19% af framburði Hólmsár við Þaula. Samanlagður ársframburður allra kornastærðarflokka nema leirs er hærri skv. sumarlyklum en vetrarlyklum. Samanlagður framburður kornastærðarflokkaðra árstíðarlykla er því einnig talsvert hærri (29%) en ársframburður samanlagðra kornastærðarflokka.

Við samanburð á milli sýnatökustaðanna Framgils og Þaula kemur í ljós að skriðursframburður er einni stærðargráðu meiri við Þaula en við Framgil (eða rúmlega 12 sinnum meiri) og svifursframburður er fimm sinnum meiri við Þaula (Tafla 13) jafnvel þótt að notaður sé árslykill. Hins vegar ber að hafa í huga að ekki er verið að bera saman tölur fyrir sömu tímabil og mikill breytileiki hefur verið á rennsli við Þaula og framboði lausefna á tímabilinu eins og áður kom fram. Viðbótar aur bætist einnig við frá Jökulkvíslinni vegna færslu hennar á aurkeilunni. Að þessu sögðu er hins vegar ljóst að uppsöfnun efnis, sem

berst fram í flóðum á sér stað ofan við Atley. Þetta efni berst fram með Jökulkvísl, Bláfellsánum og/eða efri hluta Hólmsár og þar sem þrengir að ánni neðar nær hún að rjúfa þetta efni og skýrir það nægt framboði á efnis við Þaula. Þau áhrif sem Jökulkvíslin hefur á Hólmsá er því einkum vegna rofs á farveginum en jökulvatnið sem hún bætir í Hólmsá er hlutfallslega lítið.



Mynd 25. Framburður svifaurs miðað við árslykil og árstíðarlykla, skriðaur skv. árslykli og uppsafnað dagsmeðalrennsli fyrir sumar, vetur og ár tímabilið frá 2009–2013 (vetrarrennsli, níu mánuðir; sumarrennsli, þrjú mánuðir; og ársrennsli, tólf mánuðir). Ath. byrjað var að rennismæla í september 2009 og því eru þær tölur ekki marktækar en hafðar hér til hliðsjónar.

6 HEIMILDIR

Almenna verkfræðistofan & Orkustofnun (2002). *Hólmsár- og Skaftárvirkjanir, athugun á lausum jarðlögum 2002* (LV-2002/096, RARIK-02003). Reykjavík: Landsvirkjun og RARIK.

Asselman, N. E. M. (2000). Fitting and interpretation of sediment rating curves. *Journal of Hydrology*, 234, 228–248.

Boggs, S. Jr. (1995). *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. 2nd edition. New Jersey: Prentice Hall.

Esther Hlíðar Jensen, Jórunn Harðardóttir, Svava Björk Þorláksdóttir & Snorri Zóphóníasson (2014). *Heildarframburður Hólmsár við Framgil árin 2002 til 2009* (LV-2014-067, ORK 1406). Reykjavík: Landsvirkjun og Orkusalan ehf.

Esther Hlíðar Jensen, Svava Björk Þorláksdóttir, Gunnar Sigurðsson, Snorri Zóphóníasson & Jórunn Harðardóttir (2016). *Mælingar á aurburði og rennsli í Jökulkvísl árin 2013 til 2014* (LV-2016-068, ORK16011). Reykjavík: Landsvirkjun og Orkusalan ehf.

Evgenia Ilyinskaya o.fl. (í vinnslu). *Úttekt á íslenskum eldstöðvum*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

Guðrún Larsen (2000). Holocene eruptions within the Katla volcanic system, south Iceland : characteristics and environmental impact. *Jökull*, 49, 1–28.

Jórunn Harðardóttir, Svava Björk Þorláksdóttir, Gunnar Sigurðsson & Bjarni Kristinsson. (2003). *Mælingar á aurburði og rennsli í Hólmsá við Framgil og Tungufljóti við Snæbýli, árið 2002* (OS-2003/023). Reykjavík: Orkustofnun.

Jórunn Harðardóttir, Bjarni Kristinsson & Svava Björk Þorláksdóttir (2004). *Mælingar á aurburði og rennsli í Hólmsá við Framgil og Tungufljóti við Snæbýli, árið 2003* (OS-2004/005). Reykjavík: Orkustofnun.

Jórunn Harðardóttir, Bjarni Kristinsson & Svava Björk Þorláksdóttir (2005). *Mælingar á aurburði og rennsli í Hólmsá við Framgil og Tungufljóti við Snæbýli, árið 2004* (OS-2005/002). Reykjavík: Orkustofnun.

Morgan, R. P. C. (1995). *Soil Erosion and Conservation*. Harlow: Longman.

Oddur Sigurðsson, Richard S. Williams Jr. & Skúli Víkingsson (2013). *Jöklakort af Íslandi*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

Orkustofnun & Almenna verkfræðistofan hf. (2002). *Hólmsárvirkjun. Hólmsá í Skaftártungu. Forathugun* (OS-2002/060). Reykjavík: Orkustofnun og Almenna Verkfræðistofan hf.

Páll Imsland (2013). Hætta af eldgosum. Í Júlíus Sólmes (ritstj.), *Náttúruvá á Íslandi: eldgos og jarðskjálftar* (bls. 101–104). Reykjavík: Viðlagatrygging Íslands; Háskólaútgáfan.

Philippe Crochet (2013). *Gridding daily precipitation with an enhanced two-step spatial interpolation method*. Technical report PC/2013-01, Icelandic Met Office.

Philippe Crochet, Tómas Jóhannesson, Trausti Jónsson, Oddur Sigurðsson, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, & Barstad, I. (2007). Estimating the spatial distribution of precipitation in Iceland using a linear model of orographic precipitation. *J. Hydrometeorol.*, 8, 1285–1306.

Skúli Víkingsson (2008). *Landlíkan ÍSOR*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-08022. Unnið fyrir Vatnamælingar Orkustofnunar. 4 bls.

Svanur Pálsson & Guðmundur H. Vigfússon (2000). *Leiðbeiningar um mælingar á svifaur og úrvinnslu gagna* (Greinargerð, GRG SvP-GHV-2000/02). Reykjavík: Orkustofnun.

Veðurstofa Íslands (2010). *Rennslisskýrsla vatnsárið 2009/2010 vhm 577, Hólmsá, Paula*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

Veðurstofa Íslands (2011). *Rennslisskýrsla vatnsárið 2010/2011 vhm 577 Hólmsá, Framgil*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

Veðurstofa Íslands (2012). *Rennslisskýrsla vatnsárið 2011/2012 vhm 577, Hólmsá, Hólmsárfoss*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

Veðurstofa Íslands (2013). *Rennslisskýrsla vatnsárið 2012/2013 vhm 477, Hólmsá; Hólmsárfoss*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

Verkfræðistofan Vatnaskil (2012). *Hólmsá í Skaftártungu. Rennslislíkan*. Unnið fyrir Landsvirkjun og Orkusöluna, LV-2012-094 og ORK-1207

Verkís (2013). *Hólmsárvirkjun með miðlunarlóni við Atley. Tilhögun og umhverfi* (LV-20130-76, ORK1304). Reykjavík: Landsvirkjun og Orkusalan.

World Meteorological Organization (1994). *Guide to Hydrological Practices*. 5th edition. Geneva: World Meteorological Organization.

Viðauki. Tölur og talnaefni

Viðauki 1. Niðurstöður kornastærðargreiningar á svifaurssýnum.

Dagsetning (áááá-mm-dd)	Klukka	Sýnanúmer	Leiðni (S/cm)	Rennsli (m ³ /s)	Aurstyrkur (mg/l)	TDS	Sandur (>0,2 mm) %	Grófmór (0,06-0,2 mm) %	Fínmór (0,02-0,06 mm) %	Méla (0,002-0,02 mm) %	Leir (<0,002 mm) %	Stærsta korn (mm)	Sýnagerð
2012-12-17	20:53	S-13772	0,2	43,4	37	46	69	20	2	5	4	2	S1
2012-12-17	20:40	S-13773	0,2	43,4	63	47	71	11	6	9	3	2,2	S1
2012-12-18	19:30	S-13775	0,2	43,5	141	40	61	18	3	12	6	2	S1
2012-12-18	09:15	S-13774	0,2	43,6	32	43	53	24	4	16	3	1,2	S1
2010-12-29	20:30	S-13462	60	45,5	1030	51	91	5	1	2	1	4	S1
2010-12-16	14:30	S-13460	60	47,7	66	46	56	9	7	22	6	0,25	S1
2010-12-16	15:50	S-13461		47,7	149	52	68	7	7	15	3	2,75	S1
2012-01-14	19:25	S-13629	2	50,4	161	53	50	30	7	12	1	1,5	S1
2012-01-14	15:25	S-13628	2,4	51,8	722	73	27	7	5	26	35	3,1	S1
2012-06-12	12:12	S-13676	4,6	58,3	632	54	66	15	9	9	1	3	S1
2012-06-12	15:50	S-13677	5,8	58,5	494	62	59	20	10	10	1	2,6	S1
2012-08-02	13:40	S-13710	2,6	63,9	1460	65	59	24	10	6	1	2,6	S1
2009-12-17	20:00	S-13190		64,3	565	48	88	6	4	1	1	4,4	S1
2009-12-17	17:40	S-13189		66,9	699	49	89	6	2	2	1	3,6	S1
2012-08-02	17:45	S-13711	7,9	69,6	2084	55	50	23	16	9	2	3,8	S1
2011-10-11	12:35	S-13611	2,2	70,0	1580	57	84	8	1	6	1	3,7	S1
2011-09-08	11:45	S-13578	4,1	72,5	3996	69	60	23	9	7	1	3,5	S1
2010-01-22	16:30	S-13198	58	94,2	989	51	78	12	4	5	1	2,5	S1
2010-01-21	16:40	S-13195	54	94,6	1222	53	82	10	3	5	0	0,35	S1
2009-12-13	17:25	S-13181		111	1672	45	79	13	5,0	2,0	1,0	3,2	S1
2009-12-13	15:40	S-13180		117	1624	41	77	14	3	5	1	3,0	S1
2011-11-16	22:50	S-13618	4,3	132	1865	64	50	25	13	10	2	3,9	S1
2011-11-16	13:40	S-13889		133	2490	78	52	24	12	10	2	3	S1
2011-11-15	17:30	S-13616	4,3	161	3295	65	61	20	9	8	2	2,9	S1
2010-01-22	09:45	S-13197	37	164	1351	64	60	23	8	8	1	2,5	S1
2011-11-15	19:14	S-13617	3,5	167	2336	64	42	29	16	12	1	2,6	S1

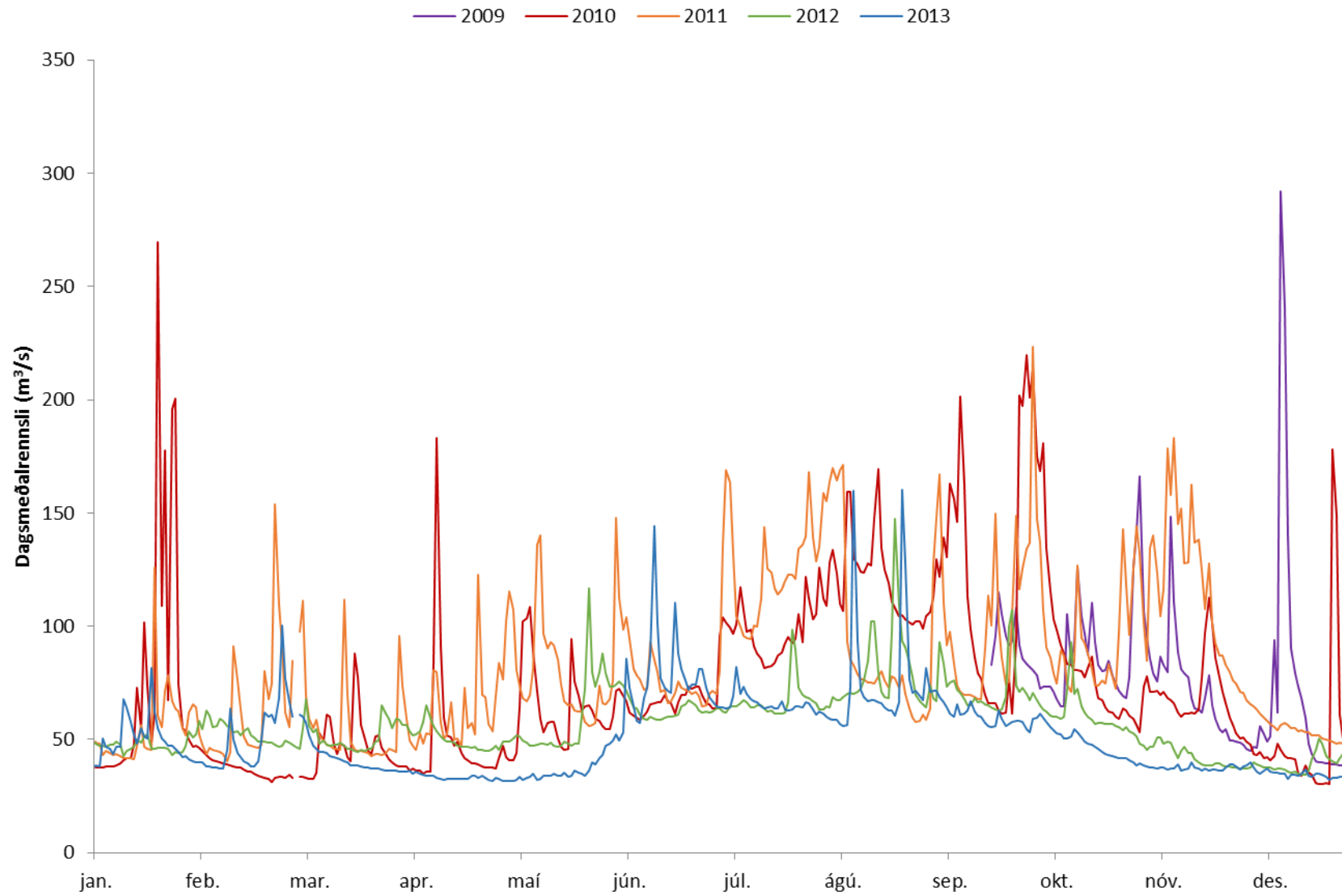
Viðauki 1. Niðurstöður kornastærðargreiningar á svifaurssýnum.

Dagsetning (áááá-mm-dd)	Klukka	Sýnanúmer	Leiðni (S/cm)	Rennsli (m ³ /s)	Aurstyrkur (mg/l)	TDS	Sandur (>0,2 mm) %	Grófmór (0,06-0,2 mm) %	Fínmór (0,02-0,06 mm) %	Méla (0,002-0,02 mm) %	Leir (<0,002 mm) %	Stærsta korn (mm)	Sýnagerð
2010-09-30	19:35	S-13397		169	7287	74	26	34	20	17	3	4,75	S1
2010-10-01	08:22	S-13398	82	171	7394	92	35	44	5	14	2	4	S1
2010-09-30	15:50	S-13396	71	209	8095	67	23	33	22	19	3	3,25	S1
2010-10-01	14:04	S-13399	66	210	7114	68	27	42	13	16	2	4,25	S1
2009-12-12	17:40	S-13176		228	2134	41	52	24	12	9	3	2,5	S1
2009-12-12	19:35	S-13177		232	2252	36	55	22	12	10	1	2,6	S1
2013-08-20	09:50	S-13885	85	60,8	2523	75	56	23	10	9	2	4,4	S1
2013-08-20	14:40	S-13886	84	62,8	3700	72	62	19	9	8	2	3,5	S1
2013-09-26	11:30	S-13902	72	57,9	738	60	77	14	1	7	1	2,6	S1
2013-09-26	16:10	S-13903	72	58,0	837	58	81	10	5	4	0	3,5	S1
2013-12-18	21:00	S-13955	61	35,5	185	50	71	18	5	5	1	1,6	S1
2013-12-19	01:25	S-13956	61	35,3	125	57	71	18	5	5	1	1,5	S1

Viðauki 2. Niðurstöður á framburðarútreikningum skriðaurssýna.

Dags	H-bakki	V-bakki	Stöð 1	Stöð 2	Stöð 3	Stöð 4	Stöð 5	Stöð 6	Stöð 7	Stöð 8	Stöð 9	Endastöð	Samtals framburður (kg/s)
12.12.2009	0	55		282	321	1502	3343	8645	18379	24106	14037	1732	72
13.12.2009	0	51			28383	8874	3522	9058	20896	26193	6678	521	104
17.12.2009	0	50		92	1509	1783	3256	9653	15644	9009		66	41
21.1.2010	0	50		236	4035	5810	7080	21138	17874	4783		2822	64
21.1.2010	0	50		20281	8663	22830	38914	23663	6964	6420		5131	133
22.1.2010	0	50		906	1906	3379	4032	11467	16535	11647		4321	54
22.1.2010	0	50		620	1693	9052	22113	24055	15453	26155		20210	119
22.1.2010	0	50		374	341	4688	21532	36498	24009	11381		6809	106
22.1.2010	0	50		236	3091	4790	10899	13688	10295	12933		7205	63
30.9.2010	0	50,1	420	1690	3694	6841	20823	29389	18660	20013	15751	0	117
30.9.2010	0	50		1250	2395	10874	13298	17096	24498	20525		8720	99
30.9.2010	0	50		1545	12195	17917	15502	23665	24547	22572		12425	130
1.10.2010	0,2	51		1132	4665	7487	7205	22303	35741	22005		4560	105
29.12.2010	0,2	51		13	1536	2168	3717	6523	7069	3674		47	25
8.9.2011	0	50		266	1645	8337	21454	31196	19962	7154		3715	94
11.10.2011	0	50			2782	11811	19677	31800	36299	16378	3317		122
15.11.2011	7,5	49		718	13410	29008	41026	36666	51345	59807	30184	5099	294
15.11.2011	7,5	49		498	32931	59862	36827	28502	47394	36800	24552	6540	274
16.11.2011	7,5	49			58096	33052	34121	41033	42495	41211	38755	6485	295
14.1.2012	10,5	48		0,0	18	47	83	209	4252	4150		52	8,8
12.6.2012	9,7	51		197	150	304	3262	16512	20660	7438		248	49
2.8.2012	0	41	5040	22313		52486	12555	6409				914	100
17.-18.12.2012	10,7	46,5		13	10	10	18	123	209	116		17	0,5
20.8.2013	10,7	45,5		315	5761	11388	17279	19088	10333	2858		66	67
26.9.2013	0	50			6780	9331	13566	13380	9164	2469		755	55
18.-19.12.2013	0	50	1,1	0,7	10,7	11,8	22,5	42,2	25,2	11,1		1	0,1
		Breiddir (m)	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50		

Viðauki 3. Samsettur rennslisferill fyrir Hólmasá við Paula (vhm577)





Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

orkusalan 

Bíldshöfði 9
110 Reykjavík
orkusalan.is

orkusalan@orkusalan.is
Sími: 422 10 00

