

Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá

Mat á setflutningi með sögulegu yfirliti

*Lokadrög handrits lögð fram til kynningar. Endanleg útgáfa verður birt
eftir rýniferli og þegar aðrir hlutar verksins eru tilbúnir*

Esther Hlíðar Jensen
Davíð Egilson
Emmanuel Pagneux
Bogi B. Björnsson
Snorri Zóphóníasson
Snorri Páll Snorrason
Ingibjörg Jónsdóttir
Ragnar H. Þrastarson
Oddur Sigurðsson
Matthew J. Roberts

Lykilsíða

Skýrsla nr. VÍ 2018-xxx	Dags. Janúar 2018	ISSN: 1670-8261	Opin ☒ Lokuð ☐ Skilmálar:
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá; Mat á setflutningi með sögulegu yfirliti			Upplag: Fjöldi síðna: 61 Framkvæmdastjóri sviðs: Jórunn Harðardóttir
Höfundar: Esther Hlíðar Jensen, Davíð Egilson, Emmanuel Pagneux, Bogi B. Björnsson, Snorri Zóphóníasson, Snorri Páll Snorrason, Ingibjörg Jónsdóttir, Ragnar H. Þrastarson, Oddur Sigurðsson og Matthew J. Roberts			Verkefnisstjóri: Davíð Egilson Verknúmer: 3721-0-0006
Gerð skýrslu/verkstígr:			Málsnúmer: 2016-134
Unnið fyrir: Ofanflóðasjóð			
Samvinnuaðilar:			
Útdráttur: Gerð er grein fyrir setflutningi Skaftár með sögulegu yfirliti og gerð samantekt á eldri rannsóknum um setútbreiðsla á hálendinu sunnan Skaftárjökuls og í Eldhrauni, allt fram til ársins 2015. Setútbreiðsla er rannsökuð með greiningu loftmynda, gervitunglamynda og ljósmynda. Einnig voru gerðir útreikningar á rúmmáli með samanburði á landlíkönum frá árunum 2003 og 2015. Setsöfnun á svæðinu sem keilan við Fögrufjöll þekur eru um $0,13 \pm 0,01$ milljón tonn á km^2 á ári. Flatarmálsaukningin á keilunni í Flögulóni yfir tímabilið 1955–2015 hefur farið úr $2,4 \text{ km}^2$ og upp í $3,7 \text{ km}^2$. Upphleðsluhraðinn er engan veginn samfelldur en tengist framhlaupum jökulsins og jökulhlaupum. Eldhraunið sem er tiltölulega ungt og gropið fyllist smám saman af sandi vegna framburðar Skaftár. Setgeirar sem sjást í hrauninu hafa farið stækkandi. Við Brest mælist þessi framrás rúmir þrír km og við Skálarál í átt að Tungulæk einnig.			
Lykilorð: Skaftá, aur, framburður, setsöfnun, jökulhlaup, loftmyndir, landlíkan, Sveinstindur, Skaftárdalur, Eldhraun, Brestur, Skálaráll, Flögulón		Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs: Undirskrift verkefnisstjóra: Yfirlit af: Matthew J. Roberts, Sif Pétursdóttir, Magnús Tumi Guðmundsson, Sigmundur Einarsson, SG	

Vitna skal í skýrsluna á eftirfarandi hátt:

Esther Hlíðar Jensen, Davíð Egilson, Emmanuel Pagneux, Bogi B. Björnsson, Snorri Zóphóníasson, Snorri Páll Snorrason, Ingibjörg Jónsdóttir, Ragnar H. Þrastarson, Oddur Sigurðsson og Matthew J. Roberts (2018). *Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá; Mat á setflutningi með sögulegu yfirliti 5. Lokadrög*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

Lokadrög

Efnisyfirlit

Ágrip	9
1 Inngangur	11
1.1 Tilgangur og uppbygging skýrslunnar	11
1.2 Viðfangsefnið og rannsóknarspurningar	11
2 Skaftá og einkenni hennar	12
2.1 Staðhættir	12
2.2 Þróun Skaftár í gegnum aldirnar og tengsl við Langasjó	16
2.3 Framburður Skaftár	19
3 Aðferðir	21
3.1 Myndgreining	21
3.2 Mismunagreining landlíkana	22
4 Inntaksgögn	22
4.1 Loftmyndir úr safni Landmælinga Íslands	23
4.2 ArcticDEM landlíkan	26
4.3 Landlíkan Landsvirkjunar frá 2003	26
5 Greining loftmynda, ljósmynda og landlíkana	26
5.1 Hálendið	26
5.1.1 Þróun keilu við Fögrufjöll	26
5.1.2 Flatarmálmælingar	28
5.1.3 Rúmmálmælingar	31
5.1.4 Rúmmál reiknað með samanburði Landlíkans LV 2003 við ArcticDEM	33
5.1.5 Setsöfnun á hálendinu	34
5.2 Svæði í byggð	36
5.2.1 Þróun keilu við Flögulón	38
5.2.2 Þróun farvega í Eldhrauni	40
5.2.3 Áhrif setframburðar á Eldhraun	42
6 Samantekt	45
6.1 Setið sem fer af stað uppi við Jökul	45
6.2 Upphleðsluhraði aurkeila á hálendi og í byggð	45
6.3 Áhrif jökulframburðar á Eldhraun	46
7 Ábendingar	46
8 Þakkir	48
9 Heimildir	49

Viðaukar.....	52
I Kort Sæmundar Magnússonar Hólm frá árinu 1784.....	52
II Reiknaður framburður Skaftár á árabílinu 1986– 2016.....	54
III Myndaröð af Fögrufjallakeilu.....	55
IV Ljósmyndir af stöðuvatni.....	56
V Leiðrétting LV2003 líkans	57
VI Mismunagreining á keilu.....	58
VII Betri upplausn af Mynd 18 Farvegir í Eldhrauni.....	62

Myndaskrá

Mynd 1. Meðalrennsli hvers dags við Sveinstind frá 1986–2015.....	12
Mynd 2. Leið Skaftár frá jökli að mælistöðvum í megindráttum.....	13
Mynd 3. Berggrunnur á vatnasviðum Skaftár, Eldvatns og Kúðafljóts.....	14
Mynd 4. Úrklippa úr aðlöguðu korti Sæmundar Hólm sem birt í heild í Viðauka I.	17
Mynd 5. Vestari kvísl Skaftár sumarið 2017.....	18
Mynd 6. Reiknaður framburður Skaftár við Sveinstind yfir árabilið 1987–2015.	20
Mynd 7. Svifaurssframburður við Skaftárdal og við Sveinstind.....	21
Mynd 8. Yfirgripssvæði loftmyndasería sem notaðar voru við greiningar á setsöfnun.	25
Mynd 9. Breytingar á Skaftárjökli og landslagi framan við jökulinn.....	27
Mynd 10. Breytingar á útlínunum keilu við Fögrufjöll yfir árabilið 1945–2015.....	29
Mynd 11. Breytingar á flatarmáli keilu við Fögrufjöll yfir árabilið 1945–2015.....	29
Mynd 12. Loftmyndir frá mismunandi tímum með útlínunum af gíg sem er að hverfa í sandinn	30
Mynd 13. Kort af fyllingu stöðuvatns sunnan við Fögrufjallakeiluna frá mismunandi árum. ..	32
Mynd 14. Framburður sets á svæðinu yfir árabilið 1945–2013.	33
Mynd 15. Rúmmálsbreytingar á keilu við Fögrufjöll.....	34
Mynd 16. Þróun útbreiðslu keilu í Flögulóni yfir árabilið 1957–2014.	38
Mynd 17. Breytingar á flatarmáli keilunnar í Flögulóni yfir árabilið 1945–2015.	39
Mynd 18. Mánaðarmeðalrennsli ásamt ársrennsli með hlaupum.	40
Mynd 19 Farvegir í Eldhrauni árin 1905, 1945, 1979 og 2003 og 2017	41
Mynd 20. Framrás sets í yfirborði hrauns við Brest sunnan þjóðveggar.....	43
Mynd 21. Framrás aurs við Skálarál í átt að Tungulæk.....	44
Mynd 22. Framtíðar þróun á rennsli við Brest.	48
Mynd 23. Þrjú mismunarlíkön gerð með GCD viðbótinni.	58

Töfluskrá

Tafla 1. Listi yfir gögn sem notuð voru við mat á setflutningi.	23
Tafla 2. Loftmyndir af Fögrufjöllum.	24
Tafla 3. Loftmyndir og gervitunglamyndir af Flögulóni/Eldhrauni.....	24
Tafla 4. Mat á rúmmálsaukningu fyllingar í stöðuvatni sunnan Fögrufjallakeilunar.....	31
Tafla 5. Niðurstöður rúmmálsreikninga á Fögrufjallakeilu	34
Tafla 6. Setsöfnun á keilu og í stöðuvatn.....	35
Tafla 7. Tímsetningar á byggingu mannvirkja í Eldhrauni.	42

Lokadæði

Ágrip

Verkefnið er í áfanga II í áætluninni Gosvá, heildaráhættumat vegna eldgosa á Íslandi. Það er hluti af verkefninu um hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá. Tilgangur verkhlutans er að meta áhrif setflutnings í Skaftárhlaupum á farveg árinna, setfyllingu í nærliggjandi hraunum og áhrif á grunnvatnsstöðu á svæðinu. Verkhutanum var skipt í tvennt og er þessi skýrsla fyrri hluti en seinni hluti fjallar um set í jökulhlaupi haustið 2015. Viðfangsefni þessarar skýrslu er að svara spurningunum: Hvað verður um setið sem fer af stað uppi við jökul? Hver er upphleðsluhraði aurkeila við Fögrufjöll og við Flögulón? Hver eru áhrif jökulframburðar á Eldhraun? Og hvað er hægt að segja um breytingar á farvegum í náninni framtíð?

Gerð er grein fyrir setflutningi Skaftár með sögulegu yfirliti og gerð samantekt á eldri rannsóknunum um setútbreiðsla á hálendinu sunnan Skaftárjökuls og í Eldhrauni fram til ársins 2015. Setútbreiðsla var rannsökuð með greiningu loftmynda, gervitunglamynda og ljósmynda. Einnig voru gerðir útreikningar á rúmmáli með samanburði á landlíkönunum.

Útbreiðsla aurkeilu við Fögrufjöll var skoðuð á loftmyndum frá mismunandi tímum. Greining á landlíkani og rúmmálmæling aurkeilunnar við Fögrufjöll var gerð með samanburðarmælingu á tveimur landlíkönunum annars vegar frá árinu 2003 og hins vegar ArcticDEM líkani frá 2014.

Fram kemur að hlaup í Skaftá voru þekkt fyrir Skaftárelda og Landbrotshraunið er mjög sandborið. Fyrst eftir Eld var Skaftá, þar sem hún rann í byggð, nærri því tær. Það breyttist með tímanum þegar jökulaur hafði þétt hraunið svo hún rann ofanjarðar.

Sögulegt yfirlit rannsókna á svæðinu upp við jökul bendir til þess að aukning hafi orðið á setframboði á svæðinu á síðustu áratugum. Greining á loftmyndum hefur einnig leitt í ljós að mikil umskipti verða um miðja 20. öld þegar jökulhlaup í núverandi mynd hefjast. Þessu fylgir að setframburður Skaftár hefur farið vaxandi frá 1945.

Á árabílinu 1995–2015 hafa árlega farið um 5,5 milljón tonn af framburði um mælistaðinn við Sveinstind ef frá er talinn framburður hlaupa. Í stórum hlaupum er vatnsmagn meira en 200 Gl og framburður slíkra hlaupa getur verið 2,5 milljón tonn og í einstaka tilfellum um eða yfir 7 milljón tonn.

Setsöfnun á svæðinu sem keilan við Fögrufjöll þekur eru um $0,13 \pm 0,01$ milljón tonn á km^2 á ári. Flatarmálsaukningin á keilunni í Flögulóni yfir tímabilið 1955–2015 hefur farið úr $2,4 \text{ km}^2$ og upp í $3,7 \text{ km}^2$. Upphleðsluhraðinn er engan veginn samfelldur heldur koma hröð upphleðslutímabil í tengslum við framhlaup jökulsins og jökulhlaup, en hægfara upphleðsla og jafnvel roftímabil þar á milli.

Eldhraunið sem er tiltölulega ungt og gropið fyllist smám saman af sandi vegna framburðar Skaftár. Það hefur bæði gerst í sjálfum hlaupunum við það að gruggugt flóðavatn leggst yfir stóran hluta Eldhraunsins og í kjölfar þeirra þegar aurinn fýkur um. Setgeirar sem sjást í hrauninu hafa farið stækkandi. Við Brest mælist þessi framrás rúmir þrír km frá árinu 1946 til ársins 2015. Framrás setgeirans úr Skálarál í átt að Tungulæk hefur verið um þrír km frá árinu 1986. Setmyndunin hefur áhrif á grunnvatnsstreymi í Landbroti og Meðallandi með þéttingu Eldhraunsins.

1 Inngangur

1.1 Tilgangur og uppbygging skýrslunnar

Verk þetta er unnið í áfanga II í áætluninni Gosvá, heildaráhættumat vegna eldgosa á Íslandi. Það er hluti af heildarverkefninu um hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá. Tilgangur verkhlutans er að meta áhrif setflutnings í Skaftárhlaupum á farveg árinna, setfyllingu í nærliggjandi hraunum og áhrif á grunnvatnsstöðu á svæðinu. Til að ná því marki var lagt upp með að:

- Reikna framburð í hlaupinu 2015 og bera saman við eldri hlaup.
- Meta rúmmál aurs sem sest til milli mælistaða í farveginum í tímans rás, með því að bera heildarframburð saman á milli staða.

Þegar til átti að taka reyndist sögulegi hlutinn svo viðamikill að ákveðið var að skipta viðfangsefninu í tvo þætti og gera grein fyrir þeim í aðgreindum skýrslum: *Mat á setflutningi með sögulegu yfirliti annars vegar og Set í hlaupi haustið 2015 hins vegar.*

Vandamál vegna rofs og framburðar aurs eru ekki bundin við Ísland heldur eru þau áberandi víða, sérstaklega á þéttbýlli svæðum heimsins. Á undanförunum árum hafa orðið miklar framfarir í gerð landlíkana bæði hvað varðar kostnað og gæði. Þar með hafa rannsóknir á breytingum á landslagi á stórum landsvæðum orðið mun viðráðanlegri en áður var. Nefna má nýlega íslenska rannsókn við Sólheimajökul (Staines o.fl., 2015), en einnig fjölmargar erlendar rannsóknir t.d. Wheaton o.fl. (2010), Carlisle (2005), Bhuyian o.fl. (2015) og Pakoksung & Takagi (2016).

Í þessu riti er lagt fram heildstætt mat á setflutningi á vatnasviði Skaftár. Skýrslan greinist í sjö kafla. Í inngangskafla er lýsing á verkefninu og rannsóknarspurningar settar fram. Í öðrum kafla er aðstæðum við Skaftá lýst og greint frá eldri rannsóknum. Þriðji kafla greinir frá aðferðafræði sem er beitt í skýrslunni og fjórði kafla fjallar um gögn sem notuð eru í verkefninu. Hin eiginlega greining gagna er sett fram í fimmta kafla. Þar er annars vegar horft til uppsöfnunar sets í aurkeilunum á hálendinu við Fögrufjöll og í byggð við Flögulón og metið hve mikil hún hefur verið. Hins vegar er skoðað hvernig farvegir í Eldhrauni hafa þróast í gegnum árin vegna aurburðar sem fylgir jökulvatninu þegar það flæðir út yfir hraunið. Niðurstöðurnar eru dregnar saman í sjötta kafla og hugmynd um það hvert stefni í nánustu framtíð er sett fram í sjöunda kafla.

1.2 Viðfangsefnið og rannsóknarspurningar

Fjallað er um þróun setsöfnunar á farvegi Skaftár frá því jökulhlaupin hófu að flæða niður farveg hennar eftir miðja 20. öld. Þeir staðir sem sjónum var helst beint að voru svæðin uppi við Skaftárjökul og þá helst aurkeilan austan við Fögrufjöll sem hér eftir er nefnd Fögrufjallakeila, Flögulón og keilan sem þar hefur verið að byggjast upp, ásamt þróun farvega í Eldhrauni. Þegar rætt er um hálendið eða svæði í byggð er því átt við svæðið uppi við jökul annars vegar og svæðið neðan við Ása hins vegar. Útbreiðslu sets í Skaftárhlaupi haustið 2015 eru gerð skil í sérstakri skýrslu (Esther Hlíðar Jensen o.fl., í vinnslu).

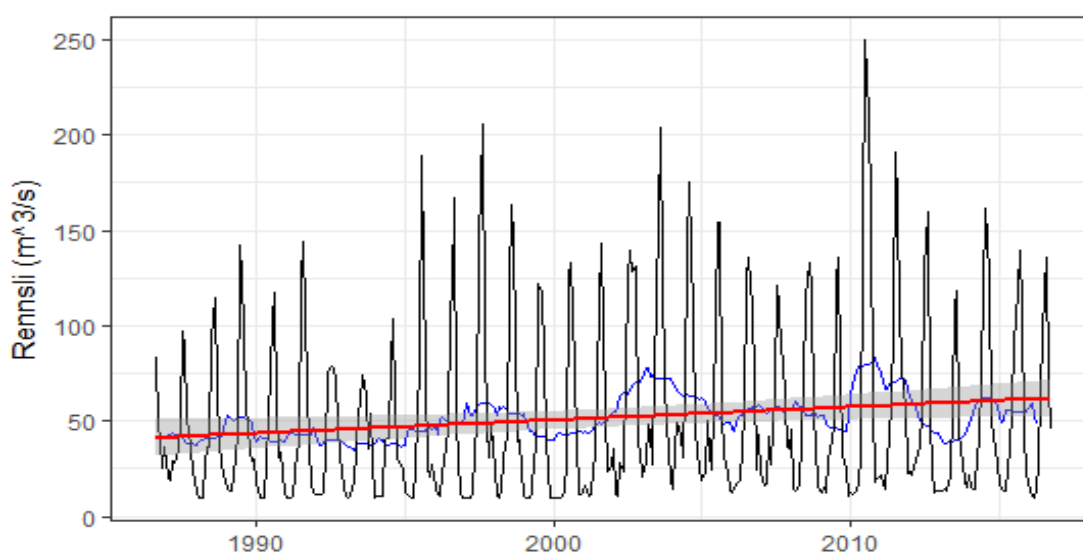
Meginviðfangsefni skýrslunnar eru eftirfarandi spurningar:

- Hvað verður um setið sem fer af stað uppi við jökul?
- Hver er upphleðsluhraði aurkeila við Fögrufjöll og við Flögulón?
- Hver eru áhrif jökulframburðar á Eldhraun?
- Hvað er hægt að segja til um breytingar á farvegum í náninni framtíð?

2 Skaftá og einkenni hennar

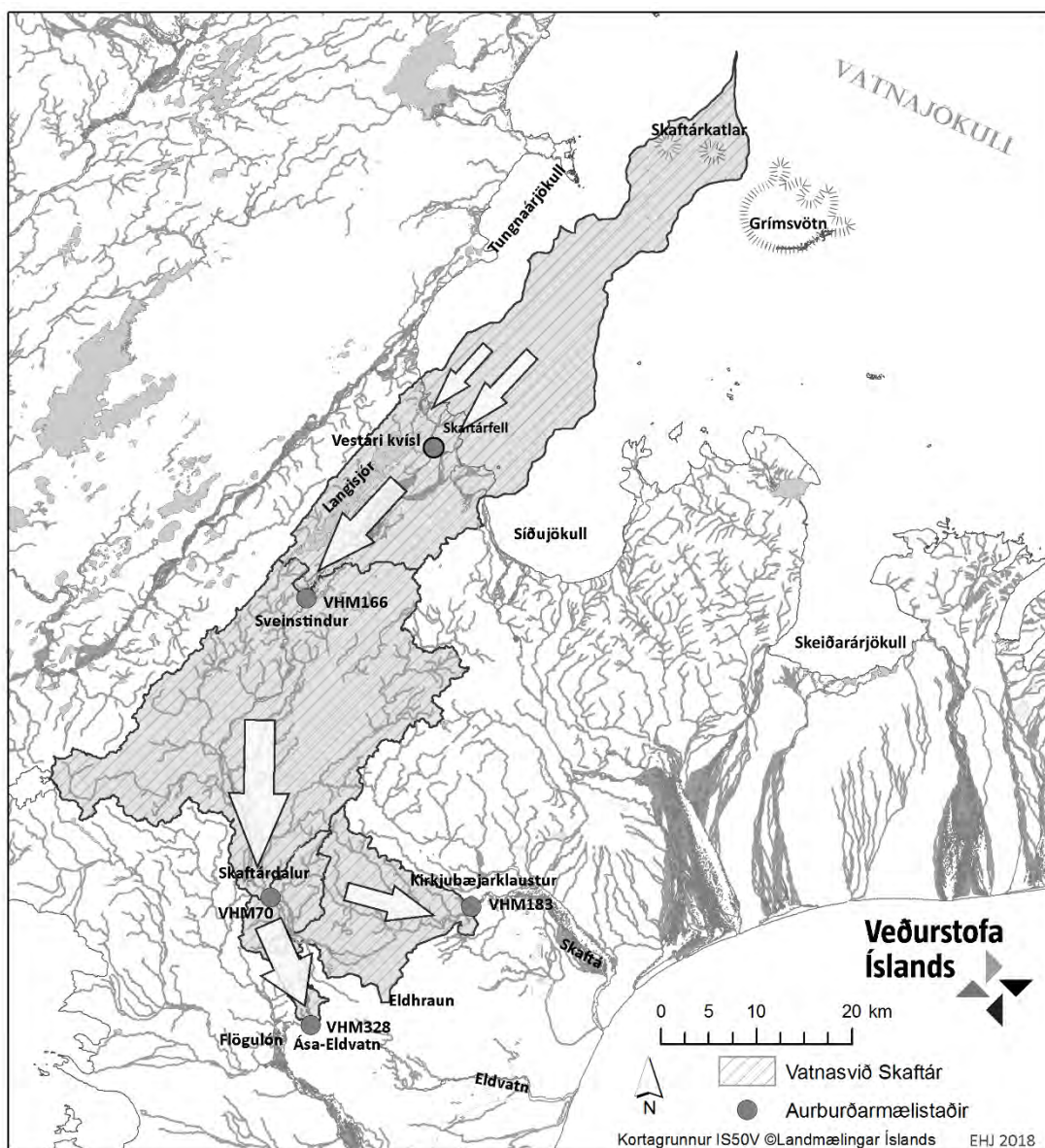
2.1 Staðhættir

Skaftá er lindarskotin jökulá og kemur jökulþátturinn undan Skaftárjökli. Stærð vatnasviðs Skaftár ofan við Sveinstind er 679 km². Undanfarin ár hefur jökulþátturinn vaxið úr um 25 m³/s í 45 m³/s að meðaltali og stafar það að mestu af hörfun jökla sem fylgir loftslagsbreytingum. Mynd 1 sýnir árstíðarsveiflu rennslis við Sveinstind ásamt hlaupandi 10 ára meðaltali þar sem jökulhlaupum Skaftár er sleppt. Ferillinn „10 ára hlaupandi meðaltal“ á myndinni sýnir lágt dagsmeðalrennsli á „köldu árunum“ á níunda áratugnum en eftir 1995 hefur rennsli farið vaxandi. Frá árinu 2010 hefur rennsli aukist samfara aukinni bráðnun jökla m.a. vegna gosösku.



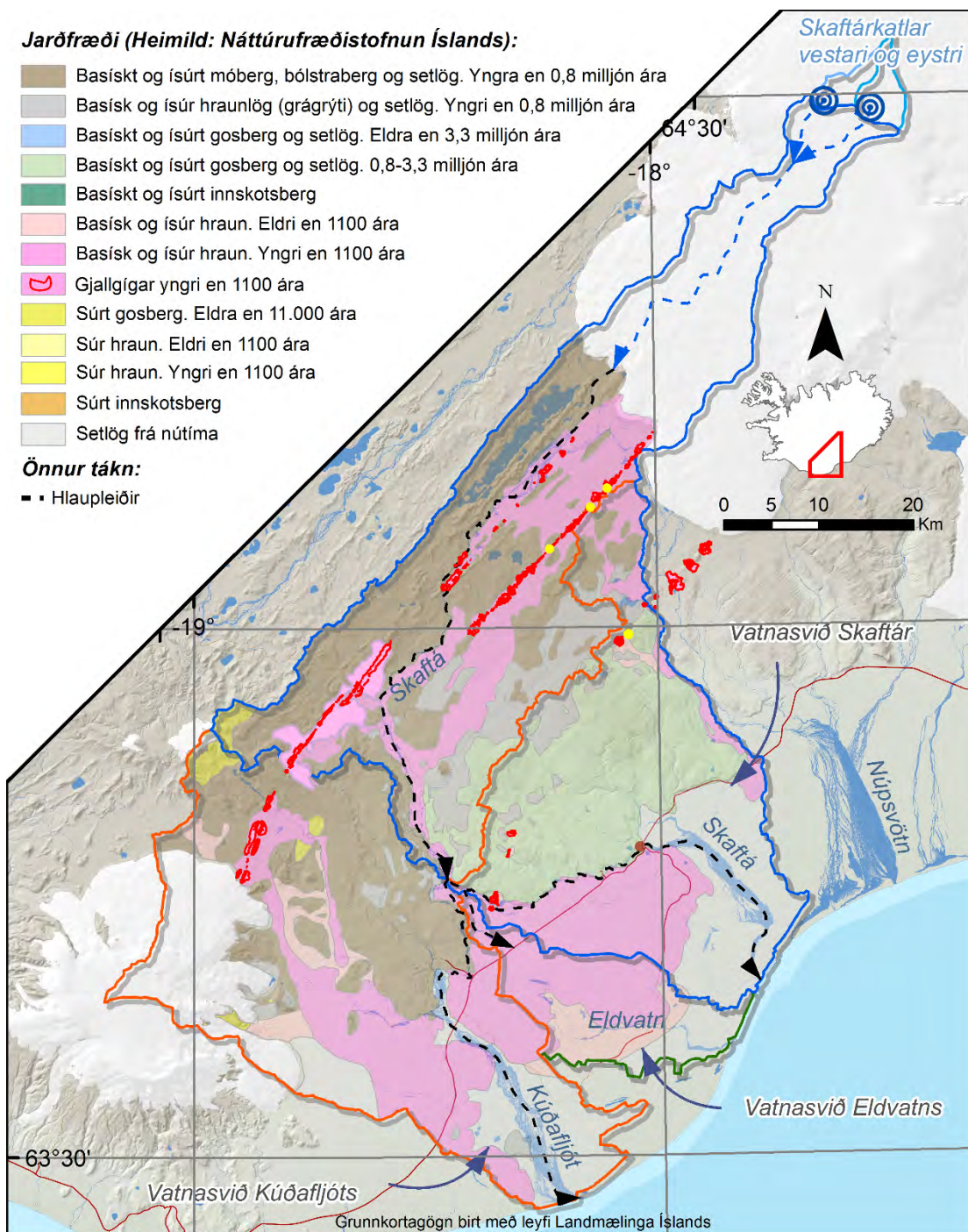
Mynd 1. Meðalrennsli hvers dags við Sveinstind frá 1986–2015. Svarta línan sýnir daggildi, sú bláa sýnir útjöfnuð gildi (10 ára hlaupandi meðaltal) og rauða línan er besta lína gegnum útjöfnuðu gildin. Gráskyggða svæðið er óvissubíl rauðu línunnar.

Ofan við Sveinstind flæmist Skaftá um aura. Þessi árin rennur hún í tveimur megin kvíslum niður að Tröllhamri en í hlaupum og miklum vatnavöxtum flæmist hún um hraunið austan við meginfarveginn. Kvíslarnar sameinast á ný við Sveinstind og falla í einum farvegi niður fyrir Skaftárdal. Þar skiptist hún aftur í tvær megin ár, Ása-Eldvatn að vestan og Skaftá að austan. Ása-Eldvatn sameinast síðan Tungufljóti og Hólmsá og rennur til sjávar sem Kúðafljót. Þriðja kvíslin, Árvíslar, rennur út á Eldhraun og hverfur þar, sjá Mynd 2. Meðalrennsli Skaftár við Sveinstind var um 40 m³/s (vhm 166 á Mynd 2) í kringum 1990 en hefur farið vaxandi síðustu ár og vatnsárið 2015–2016 var meðalrennsli 67 m³/s. Vatnasvið Skaftár ofan Skaftárdals (vhm 70 á) er 1409 km². Þar var meðalrennslið vatnsárið 2014–2015 114 m³/s fram að hlaupinu í október 2015 en mælistöðin skemmdist í hlaupinu og hefur ekki verið lagfærð. Mikið yfirborðs- og leysingavatn bætist við milli mælistaðanna við Sveinstinds Skaftárdal en þar fyrir neðan tapast vatn úr farveginum og er gífurlegt magn af vatni á ferð neðanjarðar sem kemur fram í mælingum á grunnvatni (Snorri Zóphóníasson, 2015; Ríkey Hlín Sævarsdóttir, 2002a; 2002b; Snorri Páll Snorrason & Freysteinn Sigurðsson, 2002).



Mynd 2. Leið Skaftár frá jökli að mælistöðvum í megindrættum. Stærð örvanna lýsir á myndrænan hátt mismiklu rennsli.

Vatnafræði Skaftárhvönnisins er með því flóknara sem gerist á landinu og eru þar mörg samverkandi atriði sem hafa áhrif. Þrátt fyrir að berggrunnskortið á Mynd 3 sé tiltölulega einfalt er jarðfræðin flókin þar sem mikill breytileiki er innan eininga og víðfeðm áhrif eldvirkni og höggunar. Þar ber mest á síðkvarteru móbergi annars vegar og hraunum sem runnið hafa á nútíma hins vegar. Mest áberandi eru hraun yngri en 1100 ára, þeim fylgja áberandi gígaraðir. Þetta hefur mikil áhrif á grunnvatnsstrauma (sjá t.d. Ríkey Hlín Sævarsdóttir, 2002a; 2002b; Snorri Páll Snorrason & Freysteinn Sigurðsson, 2002; Haukur Jóhannesson o.fl., 2003; Verkfræðistofan Vatnaskil, 2005), auk þess sem tímabundnar breytingar á rennsli og framburði sets á svæðinu hafa mikil áhrif á farveg Skaftár. Þar er bæði um að ræða breytingar í tengslum við framhlaup í Skaftár- og Tungnaárjökulum, nú síðast veturinn 1994–1995, sem og jökulhlaup úr Skaftárhvönn.



Mynd 3. Berggrunnur á vatnasviðum Skaftár, Eldvatns og Kúðafljóts.

Gífurlegt magn af aur berst fram í Skaftárhlaupum og hefur aurinn á síðustu 50 árum fyllt verulega í úfið Eldhraunið sem Skaftá rennur um. Það hefur bæði gerst í sjálfum hlaupunum og í kjölfar þeirra þegar aurinn fýkur um (Snorri Zóphóníasson & Svanur Pálsson, 1996; Fanney Gísladóttir, 1997; Ingibjörg Kaldal, 2002; Svanur Pálsson o.fl., 2001; Elín Fjola Þórarinsdóttir o.fl., 2008; 2012; Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2011; Gústav M. Ásbjörnsson & Elín Fjola Þórarinsdóttir, 2016). Almennir er fjallað um framburð jökla í Innslagi 1 á næstu síðu.

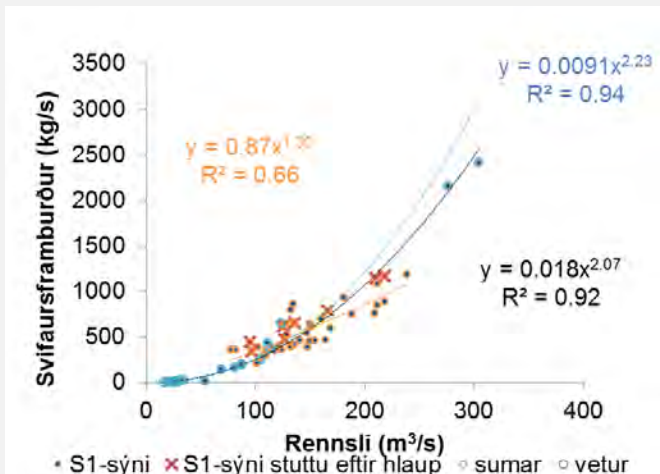
Um framburð jökuláa

Skaftá er að stórum hluta jökulá og á það sammerkt með slíkum ám að hún er skolleit af leirgruggi á sumrin og ber auk þess fram kynstur af sandi og mól. Framburðurinn er bergmylsna sem Skaftárjökull hefur sorfið upp úr undirlagi sínu.

Yfirleitt er gnótt af lausu efni undir jökli og við jökulsporðinn. Burðargeta jökuláa vex því yfirleitt mjög ört við vaxandi rennsli (efri mynd) hvort sem um er að ræða leysingu, framhlaup eða jökulhlaup eins og sést á neðri mynd. Á veturna er rennsli árinna verulega minna en á sumrum og hún ber því fram mun minna efni.

Í brattlendi grafa jökulár sig ekki síður niður en dragár, og farvegir þessara ártegunda eru mjög áþekkir. Þegar dregur úr halla farvegarins og vatns-hraðinn minnkar getur áin ekki borið öll þau feikn af grjótmýlsnu og sandi sem jökullinn lagið til og hún setur fram-burðinn af sér. Þannig myndast víðáttu-miklir aurar sem hylja allt fast berg á stórum svæðum. Um þá dreifast árnar venjulega í mörgum kvíslum og mjög breytilegum, jafnvel frá einni dagstund til annarrar.

Efnið í aurunum er í óstöðugu jafnvægi við rennsli jökulánna. Þegar rennsli er mikið, t.d. við mikla leysingu, framhlaup jökuls eða jökulhlaup, ber áin ógrynni efnið niður eftir farveginum og eins og fyrr sagði setur hún það ekki af sér



Aurburðarlyklar



Skaftá í hlaupi, sandar sunnan við jökulrönd Skaftárjökuls. Ljósmyndari: Oddur Sigurðsson

fyrir en dregur úr vatnshraðanum. Nokkrir þættir hafa áhrif á straumhraða. Þegar halli lands minnkar dregur verulega úr honum og árnar setja af sér set. Þar sem þannig háttar myndast aurar niður eftir farveginum. Þegar árnar koma úr þröngum farvegi út á hallalítið land myndast aurkeilur og eru þær stærstu gjarnan við ósa þar sem árnar renna út í sjó. Við endurtekin flóð hafa hlaðist upp víðáttumiklar aurkeilur eins og eru við Fögrufjöll og Flöglón. Annar þáttur sem hefur verulega áhrif á straumhraða er svokallaða hryfi eða hrjúfleiði yfirborðsins. Ef jökulár renna út á nýleg hraun fyllast allar glufur smám saman af seti. Við þetta einangrast jökulár frá undirliggjandi grunnvatnsgeymi.

Þar sem burðargeta árinna er háð rennsli hennar getur verið lítill aurburður við lágrennsli í ánni nærri upptökum. Áin getur þess vegna verið nokkurn veginn tær þegar hún kemur að aurkeilu eða áreyrum sem hafa myndast í fyrri flóðum. Þegar þannig háttar nær hún að taka

upp efni sem þar er og grafa þannig úr aurkeilunni. Aurkeilurnar eru því engan veginn stöðugar – það getur bæst í þær og grafið úr þeim eftir því hve mikið áin getur borið hverju sinni.

Innslag 1. Um framburð jökuláa.

2.2 Þróun Skaftár í gegnum aldirnar og tengsl við Langasjó

Elstu rituðu upplýsingar um Skaftárhlaup er að finna í Eldriti Jóns Steingrímssonar (1728–1791) (Jón Steingrímsson 1973) og ferðabók Sveins Pálssonar (1762–1840) (Sveinn Pálsson 1983). Þar kemur fram hjá Jóni Steingrímssyni að hlaup í Skaftá virðast hafa verið þekkt frá gamalli tíð og fyrir Skaftárelda. Í Eldritinu á bls. 348–349 segir: „*Eftir gamalla manna sögn hafði verið til forna eitt djúpt veiðivatn millum Skaftárdals og á í einum krók og kima fyrir innan Nátthaga og framan Hæl, fyrir austan ána hvar hún síðast rann, í hvert Skaftá hafði borið í einu af sínum vatnshlaupum.*“ (Jón Steingrímsson, 1973).

Sæmundur Hólm teiknaði kort af Landbroti sem sýnir landið fyrir og eftir að Eldhraun rann. Kortið kom út árið 1784 í Kaupmannahöfn og er því samtímaheimild (Sæmundur Hólm, 1784). Í Viðauka I má sjá kortið sem hann teiknaði af svæðinu áður en Eldhraun rann þar sem höfundar þessarar skýrslu hafa lagt ofan á skyggingu af Eldhrauni, eins og Sæmundur teiknaði það á sínum tíma, ásamt núverandi legu Þjóðveg 1. Á Mynd 4 má sjá úrklippu úr kortinu sem birt er í heild í Viðauka I. Nokkur nöfn bæja og farvega hafa verið dregin fram sem rætt er um í þessari skýrslu. Lýsingar Sæmundar á gosinu voru gagnrýndar af samtímamönnum hans enda voru þær byggðar á frásögnum annarra. Hins vegar verður ekki litið framhjá því að Sæmundur var vel staðkunnugur í Meðallandi eins og kortið ber með sér. Þrátt fyrir að mælikvarði kortsins sé bjagaður má sjá á því afstöðu milli bæja og árfarvega. Þar kemur fyrir nafnið Melkvísl vestan við Grenlæk og Tungulæk sem rennur niður í Botna. Allir þessir farvegir koma úr Skaftá og bendir nafnið Melkvísl til þess að sandur eða mól hafi verið í farveginum. Melkvísl liggur ofan á Landbrotshrauninu en á kortinu sést hraunbrúnin við Botna. Hraunbrún Eldhraunsins er teiknuð þar sem hún fer fram af Landbrotshrauninu (fjólublá skygging). Í Eldritinu segir Jón Steingrímsson:

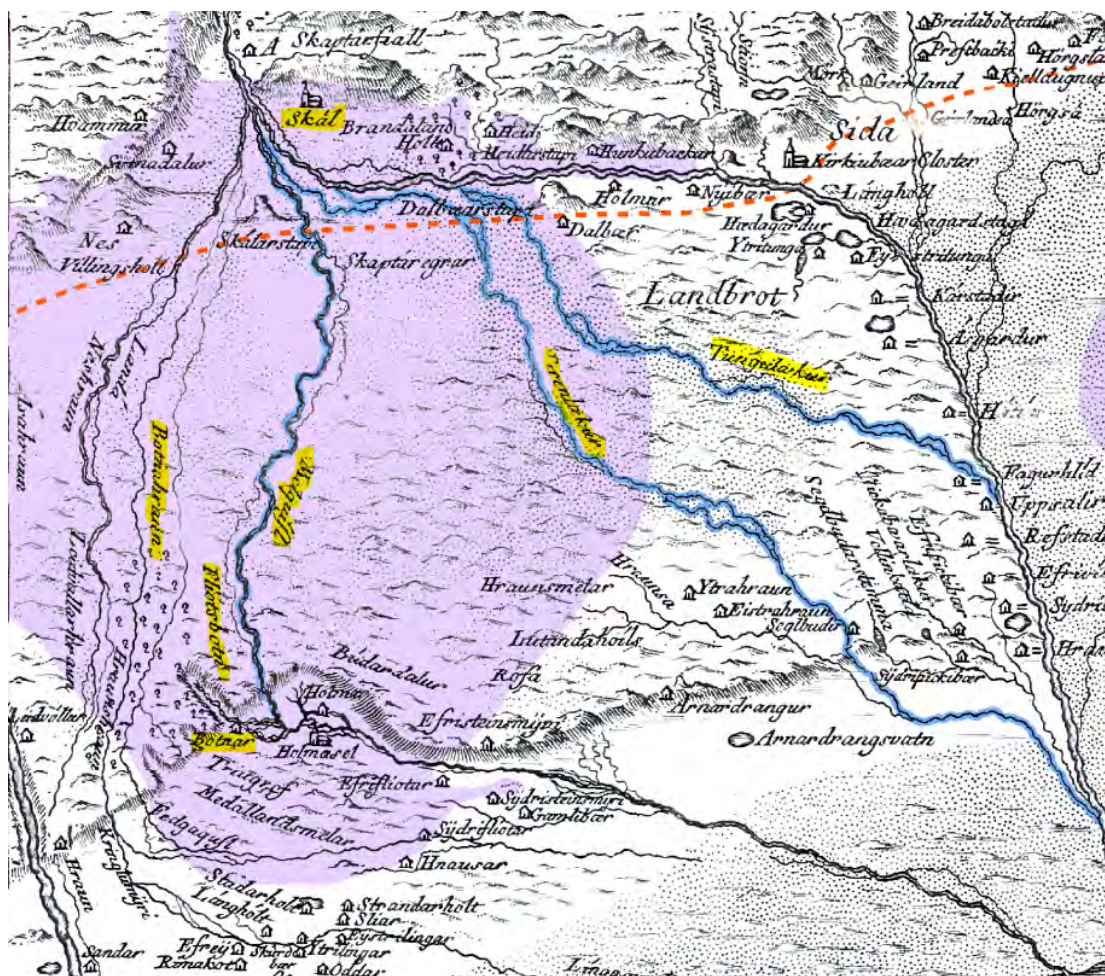
Nú tók Eldurinn með stóru neistaflugi sér eina höfuðrás til landsuðurs og stefndi á Meðallandið, mest um Melkvíslarfarveg, sem áður rann úr Skaftá í annað rennandi uppsprettuvatn, sem fyrst kallaðist, Botnafljót, af bæ þeim sem stóð skammt frá upptökum og vestan það.

Á korti Sæmundar Hólms er tákn fyrir sand teiknað um stóran hluta Landbrotshraunsins (öðru nafni Eldgjárhraunið 934) og í farveginum vestan við Melkvísl eru tákn fyrir trjágróður. Þetta bendir til þess að á þeim 849 árum sem liðu milli jarðeldanna hafi Skaftá náð að fylla vel upp í gamla hraunið.

Sú hefur þróunin einnig verið eftir Skaftárelda eins og glögglega kemur fram þegar Jón Jónsson ræðir í grein sinni í Náttúrufræðingnum (1991) um áhrif eldhraunsins á hlaupvatnið og vitnar í ferðabók Sveins Pálssonar.

Á fyrstu árum eftir Eld var Skaftá niðri í byggð tært bergvatn. Svo var hún 1793 þegar Sveinn Pálsson fór þar um (sbr. Ferðabók bls. 266 og 588). Sveinn segir: „Að vísu gengur orð rómur um, að hún (Skaftá) verði stundum jökullituð hjá Skaftárdal, en aldrei verður þess vart hjá Ásum.“

Þar með er staðfest að 10 árum eftir Eld voru hraunin svo öflug sía að áin var tær niðri í byggð.

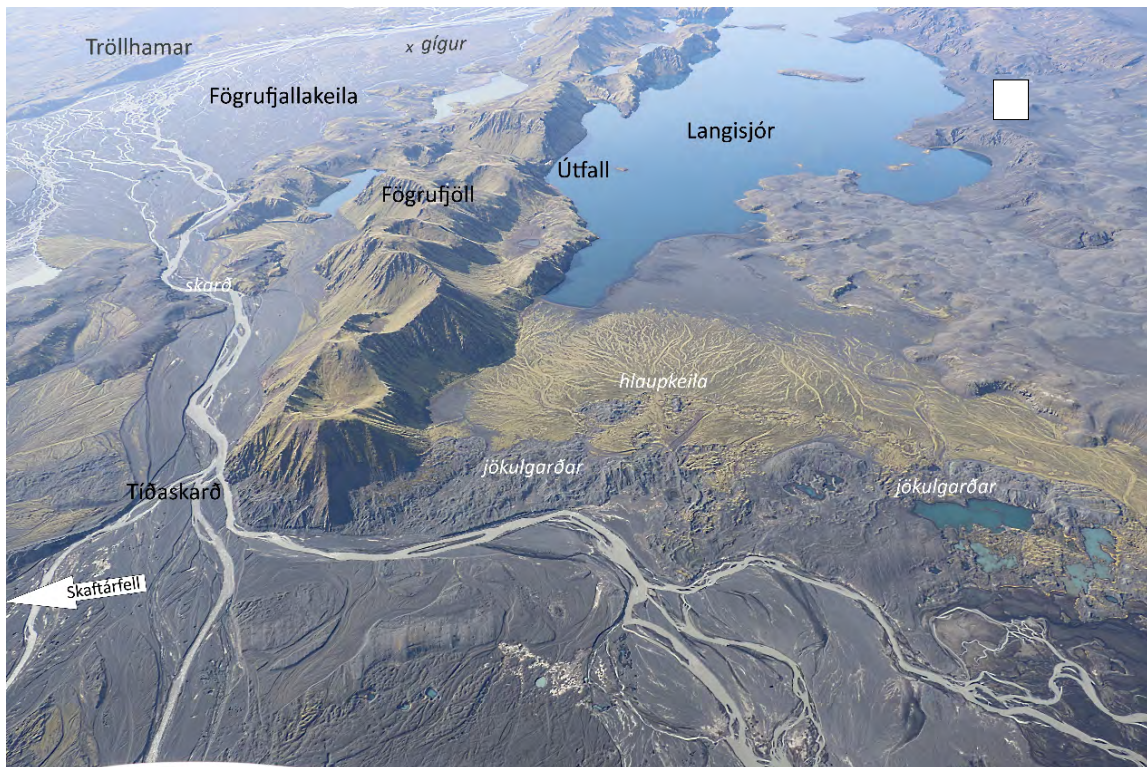


Mynd 4. Úrklippa úr aðlöguðu korti Sæmundar Hólm sem birt í heild í Viðauka I.

Helgi Björnsson (1977) hefur eftir Sigurjóni Pálssyni bónda á Ströndum í Meðallandi 1919–1947 að jökulhlaupa hafi iðulega orðið vart í Kúðafljóti á fyrri hluta 20. aldar. Jón Jónsson jarðfræðingur sem ólst upp í Landbroti á Síðu bendir á að það hafi iðulega komið mikill vöxtur í Skaftá án þess að unnt væri að setja það saman við rigningar (Jón Jónsson, 1970).

Ýmsar heimildir eru til um landslag umhverfis upptök Skaftár. Þorvaldur Thoroddsen gerði fyrstu kortin af svæðinu eins og kemur fram hjá Ágústi Böðvarssyni (1996):

Langisjór, sem Þorvaldur Thoroddsen kortlagði fyrstur manna á jarðfræðikort sitt, liggur í 20 km löngum dal milli Fögrufjalla og Tungnaárfjalla, og er yfirborð vatnsins í 660 m hæð yfir sjávarmáli. Langisjór er uppistöðulón myndað af jökulám sem koma undan Skaftárjökli norðan Fögrufjalla, en afrennsli úr honum fer gegnum þröngt skarð innst í Fögrufjöllum, um 5 km frá jöklinum. Þorvaldur var óheppinn með veður þegar hann var á þessum slóðum árið 1893. Hann fann því ekki afrennslið og teiknaði það ranglega úr vesturenda hans, en þar er margra metra hár hryggur sem lokar fyrir afrennsli...



Mynd 5. Vestari kvísl Skaftár sumarið 2017. Fögrufjallakeilan og hlaupkeila við N-enda Langasjávar. Ljósmynd: Esther Hlíðar Jensen.

Kort í mælikvarða 1:800.000 kom út árið 1927, gert af Daniel Bruun, og þar er afrennsli einnig dregið úr vesturenda Langasjávar þrátt fyrir að heimamenn hafi verið búnir að koma þeim upplýsingum áleiðis að afrennsli úr vatninu væri um Útfallið (Ágúst Böðvarsson, 1996).

Skúli Víkingsson (sjá Elsa G. Vilmundardóttir o.fl., 1999) rannsakaði laus jarðlög við norðurenda Langasjávar 1998. Niðurstaða hans var í stórum dráttum að áður en jöklar náðu hámarksútbreiðslu hafi afrennsli undan jöklinum verið milli Fögrufjalla og Skaftárfells og vatnsborð Langasjávar verið lægra en í dag. Þegar jökullinn gekk fram og náði að enda Fögrufjalla lokaði hann fyrir afrennslið þar jafnframt sem vatn tók að renna í Langasjó. Við það hækkaði í vatninu og afrennslið varð um skarð sem nú heitir Útfall. Þegar jökullinn hörfaði á ný frá Fögrufjöllum upp úr 1960 minnkaði smám saman það jökulvatn sem féll í Langasjó og að því kom að allt vatn tók að falla til Skaftár norðan Fögrufjalla. Jökullinn skildi eftir sig mikla jökulgarða sem valda því að vatnsborð Langasjávar hefur ekki lækkað til fyrra horfs eftir að jökullinn hörfaði og útrennslið fór um Útfall (Mynd 5).

Á meðan jökullinn lá við Fögrufjöll virðast ekki mörg hlaup hafa farið í Langasjó. Hlaupkeila við norðurenda Langasjávar bendir til að a.m.k. eitt hlaup hafi farið út í Langasjó um það leiti sem jökullinn hörfaði þaðan árið 1946. Eins og sést á myndinni varð keilan til neðan við skarð sem er á milli jökulgarðanna og í dag er hún hulin mosagróðri (Mynd 5). Þegar jökullinn hörfaði frá Fögrufjöllum fóru stærri hlaup að fara í farveg Skaftár. Síðan þá hefur aurkeila verið að hlaðast upp austan við Fögrufjöll og mun líklega verða til þess að farvegur Skaftár færist austar í framtíðinni. Samanburður á ísþykkt og hæð botns undir jökli gefur sterkar vísbendingar um að vatnaskil milli Skaftár og Hverfisfljóts hafi flust til norðurs við hop jökulsins á árunum

1998–2012 og vatnasvið Hverfisfljóts stækkað lítillega. Talið var líklegt að sú þróun myndi halda áfram í einhverjum mæli (Finnur Pálsson o.fl., 2016).

Helgi Björnssonar ræðir í grein sinni í Jökli (Helgi Björnsson, 1977) um hlaup sem komu í Skaftá fyrir 1955.

Við eftirgrennslan hefur komið í ljós, að jökulhlaup voru tíð í Skaftá fyrir 1955. Gísli Sigurðsson, bóndi á Búlandi í Skaftártungu, hefur tjáð höfund, að jökulhlaup hafi fallið í Skaftá nærri hvert ár svo lengi sem hann man, þ.e.a.s. að minnsta kosti aftur til 1910. Flest jökulhlaupin fram að 1955 voru miklu smærri en hin síðari ár. Oftast voru hlaupin þá svo lítil og snögg, að Skaftá var væð hestum daginn eftir að hlaup hófst... Stærsta jökulhlaupið fyrir 1955 kom í byrjun september 1938. Sandar stóðu á eyju í Kúðafljóti, og sótti heimilisfólk drykkjarvatn í Kúðafljót. Vatnið þótti hinsvegar ódrekkandi meðan hlaup voru í fljótinu.

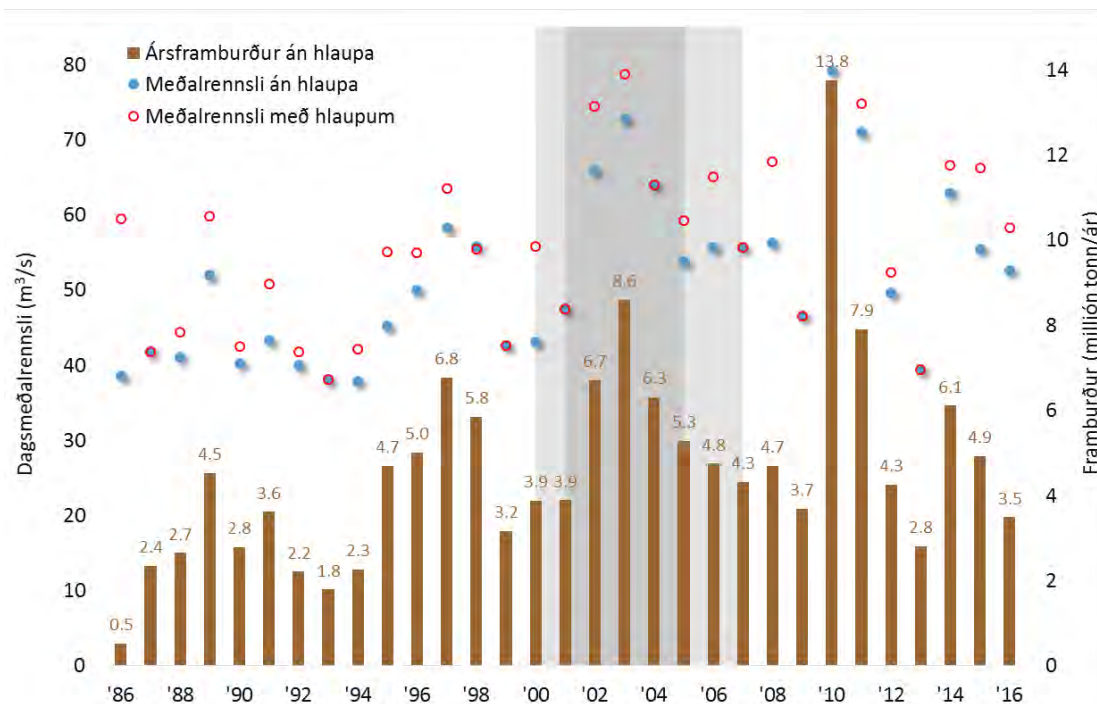
Samkvæmt frásögninni koma hlaupin snögg fram, vaxa hratt og dvína fljótt. Þess vegna er mjög ólíklegt að þau hafi haft viðkomu í Langasjó. Ef hlaupin færu um Langasjó yrðu breytingar á rennsli mun hægari en fram kemur í ofangreindri lýsingu.

2.3 Framburður Skaftár

Í venjulegu árferði ber Skaftá mikið magn aurs fram eftir farvegi sínum. Framburðurinn vex mikið í Skaftárhlaupum þegar gríðarlegt magn af aur sem upprunninn er undan jökli bætist við. Einnig rjúfa hlaupin sandana framan við jökul á leið sinni eftir farveginum. Halli og lögun landsins hefur mest áhrif á það hvort framburðurinn nær að setjast til eða vatnsflaumurinn nái að rjúfa undirlagið og bera rofefni með sér niður eftir ánni. Áhrifin af hlaupunum eru m.a. marktæk breyting á lögun lands. Aurburðarsýnum hefur verið safnað um 15 km neðan við Fögrufjalla-aurkeiluna á kláfi við Sveinstind. Því getur mæling á upphleðslu hennar sagt til um hversu mikið efni fer af stað við upptökin.

Á tímabilinu 1955–2010 komu hlaupin nánast árlega (Snorri Zóphóníasson, 2002) en hlaupið 2015 kom hins vegar eftir fimm ára hlé. Hlaupin auka aurframburð gífurlega (Svanur Pálsson & Snorri Zóphóníasson, 1992; Snorri Zóphóníasson & Svanur Pálsson, 1996; Svanur Pálsson o.fl., 2001; Snorri Zóphóníasson, 2002; Jórunn Harðardóttir & Svava Björk Þorláksdóttir, 2003; Jórunn Harðardóttir o.fl., 2004a; 2004b) bæði með auknu framboði af efni en einnig flyst efnið til í farveginum og tekur það ána langan tíma að selflytja það niður farveginn, einkum vegna þess að aurinn dreifist um mikið flæmi þegar hlaupin eru stór (Ingibjörg Kaldal, 2002). Stór hlaup teljast þau hlaup þar sem heildarvatnsmagn er meira en 200 Gl (gígalítrar) og framburður í slíkum hlaupum getur verið meira en 2,5 milljón tonn og í einstaka til fellum um eða yfir 7 milljón tonn (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2011). Neðarlega á vatnasviði Skaftár hefur aurinn úr jökulhlaupum fyllt og þétt stór hraunasvæði. Í jökulhlaupum rennur Skaftá sífellt lengra út á gróíð land og veldur gróðureyðingu. Jökulhlaupin hafa einnig haft mikil áhrif á grunnvatnsstreymi í Landbroti og Meðallandi (Snorri Zóphóníasson, 2015; Almenna Verkfræðistofan, 2002). Ýmsar tillögur um aðgerðir til þess að hindra áfok og til að viðhalda rennsli í lækjum á svæðinu hafa verið settar fram og framkvæmdar.

Mynd 6 sýnir reiknaðan framburð fyrir árabilið 1986–2016 miðað við dagsmeðalrennsli án hlaupa. Hún er byggð á aurburðarlyklum sem gilda annars vegar fyrir tímabilið 2001–2008 og er sá lykill byggður á svifaurssýnum sem tekin voru við Sveinstind á því tímabili og hins vegar

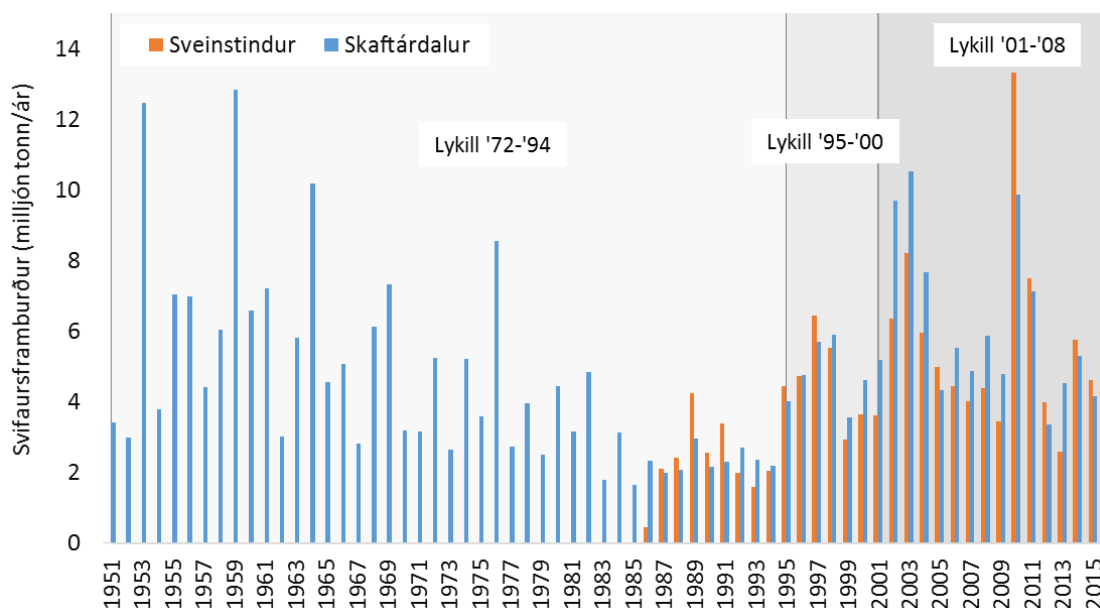


Mynd 6. Reiknaður framburður Skaftár við Sveinstind yfir árabilið 1986–2015. Bláir punktar sýna meðalrennsli án hlaupa, rauðir hringir sýna meðalrennsli með hlaupum. Gráskyggðu svæðin sýna gildistíma svifaurslykils (ljósgrátt) og skriðaursslykils (dökkgrátt).

á skriðaurssýnum fyrir tímabilið 2002–2006 frá sama stað. Viðauki II sýnir að útreiknaður framburður fyrir Skaftá við Sveinstind hefur aukist að meðaltali frá árabilinu 1987–1995 úr 3,0 milljónum tonna á ári í 5,5 milljónir tonna á ári að meðaltali yfir tímabilið 1996–2016. Til skýringar skal þess getið að rennslismælingar við Sveinstind hófust á miðju ári 1986 og því er fyrsta árið ekki með í meðaltalinu. Til að setja þessar tölur í samhengi við það sem almenningur þekkir bærust um 15.000 tonn að meðaltali á dag um mælistaðinn við Sveinstind fyrir tímabilið 2001–2008 sem jafngildi u.þ.b. 500 ferðum stórra vörubíla með 30 tonna burðagetu á hverjum degi. Þessar tölur hafa á einstökum árum verið hærri með auknu rennsli og áhrifum eldgosa og fyrir árið 2010 reiknast framburður t.d. 13,8 milljón tonn eða 37,8 þúsund tonn á dag sem samsvarar 1260 ferðum á dag á sams konar vörubílum.

Ofangreindir útreikningarnir eru gerðir með þeim fyrirvara að samband rennslis og aurstyrks hafi ekki breyst á tímabilinu 1986–2016 og rennslisgögnin séu af viðunandi gæðum. Þetta gefur hins vegar ekki alveg rétta mynd því rannsóknir á framburði við Skaftárdal gefa til kynna að hann hafi aukist milli tímabilanna sjá Mynd 7 og eldri rannsóknir styðja það (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2011; Svanur Pálsson o.fl., 2001). Það eru því vísbendingar um að samband rennslis og framburðar hafi breyst þannig að aurstyrkur á rennsliseiningu hafi aukist. Uppfærðir rennslislyklar myndu varpa ljósi á það. Meira verður fjallað um samanburð milli staða og gæði rennslisgagna í skýrslunni *Set í hlaupi haustið 2015* (Esther Hlíðar Jensen o.fl., í vinnslu).

Eins og sjá má á Mynd 7 var svifaursframburður Skaftár við Skaftárdal talsvert mikill á fyrstu árum eftir að vatnamælingar hófust þar. Framburðurinn fór síðan hægt minnkandi en minnstur var hann á köldu árunum frá 1983–1995 þegar minna var í ánum. Upp úr því tekur hann að vaxa



Mynd 7. Svifursframburður við Skaftárdal (bláar súlur) og við Sveinstind (appelsínugular súlur); gráskyggðu svæðin tákna það tímabil þar sem hver lykill var notaður (sjá nöfn lykila).

á ný. Útreikningar á framburði voru gerðir með þrem mismunandi svifurslyklum og sýna gráskyggðu svæðin mismunandi tímabil. Lykill með gildistímann 1972–1994 var notaður fyrir tímabilið frá 1951–1994, tímabilið frá 1995–2000 er reiknað með lykli sem gildir fyrir það tímabil. Síðasta tímabilið frá 2001–2015 er reiknað með lykli með gildistímann 2001–2008 því svifurslykill fyrir Skaftárdal hefur ekki verið endurreiknaður með nýjum sýnum. Endurskoðun á aurburðarlyklum verður gerð í skýrslunni *Set í hlaupi haustið 2015* (Esther Hlíðar Jensen o.fl., í vinnslu).

3 Aðferðir

3.1 Myndgreining

Greindar hafa verið loftmyndir, gervitunglamyndir, ljósmyndir og gömul kort. Hnitsetning flestra loftmynda var framkvæmd í ArcGIS hugbúnaði út frá réttmyndakortum en hluti myndanna var réttur upp í ER-Mapper hugbúnaði. Eðlismunur er á þessum aðferðum. Með hnitsetningu eru valdir sameiginlegir punktar annars vegar á óhnitsettu myndinni og hins vegar á réttmyndarkortinu og hugbúnaðurinn reiknar vörpun á milli punktanna. Seinni aðferðin felst í því að myndir eru réttar upp og búið til réttmyndarkort út frá sameiginlegum þekktum hnitum og landlíkani.

Við greiningu landslags á myndum og mismun mynda þarf að hafa í huga að sjónarhorn í myndatöku getur haft áhrif á útlit, sérstaklega þar sem halli er mikill. Við hnitsetningu mynda verður ekki leiðrétting á þessum þætti en upprétting lagar myndina að líkani og leiðréttr því að hluta áhrif sjónarhornsins. Greiningarnar sem hér voru gerðar voru ekki á hallamiklu landi og er því gert ráð fyrir að hnitsettar myndir séu fullnægjandi.

Greiningin fólst í því að útlínur landslags voru teiknaðar af skjá. Þetta voru m.a. útlínur keila, stöðuvatns og gígs. Gömul kort voru einnig hnitsett og voru farvegir teiknaðir með myndgreiningu á gömlum kortum.

LANDSAT-8 gervitungl NASA hefur fjölrófsskanna (OLI – Operational Land Imager) með níu böndum frá bláu ljósi yfir í stuttbylgju innrauða geislun. Það hefur einnig hitaskanna (TIRS – Thermal Infrared Sensor) með tveimur hita innrauðum böndum. Þar sem áhrif Skafárhlaupsins haustið 2015 tengdist í mörgum tilfellum breytingu á gróðurfari, þótti henta vel að skoða nærrinnrauða samsetningu, reikna síðan út gróðurvísi (NDVI) og loks útbúa breytingamynd, þ.e. NDVI fyrir hlaup – NDVI eftir hlaup. Með þessu má á fljótlegan hátt kortleggja breytingasvæði, en fara verður vel yfir hvað það er sem veldur breytingunum á myndinni. Útlínur voru síðan dregnar eftir niðurstöðum greiningarinnar.

3.2 Mismunagreining landlíkana

Landlíkön innihalda samfelldar upplýsingar um hæð landsvæða sem þau ná yfir. Nákvæmni landlíkana fer eftir upplausn þeirra bæði í fleti og hæð. Þegar fleiri en eitt landlíkan er til af sama landsvæði í nægilegri upplausn er unnt að greina breytingu á landslagi með því að bera þau saman. Við greiningu landslagsbreytinga með landlíkönum eru nokkur atriði sem þarf að huga að. Fyrst er þar að nefna upplausn eða mælikvarði líkananna. Hann þarf að vera af sömu stærðargráðu svo samanburður verði marktækur. Aldur gagnanna sem notuð eru í gerð líkananna þarf að vera sami fyrir hvort líkan um sig svo augljóst sé hvaða tímabil er verið að bera saman. Gæði landlíkana hefur mikil áhrif á hvort niðurstöður úr rannsóknum á þeim séu marktækar, sjá umræðu í kafla 3 um gæði LV2003 líkansins og VP4 (Emmanuel Pagneux o.fl., í vinnslu) um gæði ArcticDEM líkansins.

Við rúmmálsgreiningu var notað forritið GCD_6.1.14.0 (Geomorphic Change Detection) sem er viðbót við ArcGIS (Wheaton, 2017; Wheaton o.fl., 2010). Útkoma úr greiningunni sem framkvæmd er í GCD er mismunalíkan eða svokallað DoD (e. DoD: DEM of Difference). Þar hafa verið reiknaðar rúmmálsbreytingar og útbreiðsla bæði fyrir rof og setsvæði. Aðferðin byggir á því að magntaka breytilega óvissu á hæðargildum landlíkana með loðmengiskenningu (e. fuzzy set theory). Hún felst í grófum dráttum í því að flokka ákveðna þætti landlíkansins eftir mikilvægi (s.s. halla og nákvæmni) og meta með þeim hætti óvissu í hverjum punkti. Síðan er óvissuþáttunum dreift á milli líkananna og þannig metnar líkur á hvort óvissan hafi áhrif í tilteknum punkti mismunarastans (DoD). Líkurnar eru síðan uppfærðar með staðbundinni nágrannagreiningu og Bayes setningu. Að lokum er val um að nota maska sem er landmótunarfræðilega þýðingarmikill til að aðskilja niðurstöður fyrir rof eða set en því var sleppt í þessari rannsókn þar sem aðeins var verið að skoða eitt landform, þ.e. keiluna við Fögrufjöll.

4 Inntaksgögn

Gögn sem notuð voru í verkið voru margvísleg. Þetta voru landlíkön, loftmyndir, ljósmyndir, kort þar sem búið er að túlka hrágögn s.s. mæligögn eða fjarkönnunargögn og mæligögn sem safnað var á staðnum (Tafla 1).

Loftmyndir, ljósmyndir og fjarkönnunargögn sem teknar eru á tilteknum tíma geta innihaldið mikilvægar upplýsingar um landslag, gróðurfar, vatnsstöðu og annað á þeim tíma sem gagnanna var aflað. Þá eru landlíkön, sbr. kafla 2.2 mjög mikilsverð við slíka greiningu.

Loftmyndir koma úr safni Landmælinga Íslands. Þar á meðal eru svokallaðar DMA myndir sem teknar voru af bandaríska hernum rétt eftir seinni heimstyrjöldina en einnig mikið af myndum sem Landmælingar Íslands tóku. Gömul kort voru einnig skoðuð, þau elstu frá árinu 1905 svokölluð Herföngjaráðskort. Einnig var kort frá árinu 1970 frá Orkustofnun notað til samanburðar ásamt AMS kortum bandaríska hersins.

Tafla 1. Listi yfir gögn sem notuð voru við mat á setflutningi.

Uppruni gagna	Eigandi gagna	Aldur gagna
Skámyndir úr hlaupi 1995, Oddur Sigurðsson	Oddur Sigurðsson	1995
Loftmyndir fyrir hálendi og svæði í byggð	LMÍ	1938; 1945–1995*
Herföngjaráðskort; hnitsett fyrir verkefnið	LMÍ	1904
AMS kort, hnitsett fyrir verkefnið	LMÍ	1945–46
OS-kort; hnitsett fyrir verkefnið	Orkustofnun	1970
ArcticDEM,	Polar Geospatial Center	2013–2015
Landlíkan LV, TIN búið til úr hrágögnum	Landsvirkjun	2002–2003
Landmælingar SPS	Verkís	2000–2001
Útlínur 1995 hlaups;	Orkustofnun	1995
Útlínur sands í farvegi;	Landgræðslan	2005; 2012; 2015
Landsat 8 gervitunglamyndir	Ingibjörg Jónsdóttir HÍ	2015

*Fyrstu Loftmyndir eru frá 1945 en skámyndir frá 1938. Listar yfir allar myndir sem notaðar voru til greininga eru í kafla 4.

4.1 Loftmyndir úr safni Landmælinga Íslands

Skannaðar voru nánast allar loftmyndir úr safni Landmælinga Íslands sem falla innan athugunar-svæðisins, þ.e. frá Skaftárjökli að Flögulóni og hluta mynda úr Eldhrauni. Þetta eru fyrstu myndir sem teknar voru árið 1938 allt til mynda sem teknar voru árið 1995 þegar Landmælingar hættu loftmyndatöku, alls 356 myndir.

Hnitsetning allra loftmynda (nema mynda frá árinu 1995) var unnin eftir loftmyndaþjónustu Loftmynda ehf. og framkvæmd í ArcGIS hugbúnaði. Myndirnar frá 1995 af hálendinu (við upptök Skaftár) voru uppréttar í ER-Mapper hugbúnaði af Jóhanni Thorarensen hjá Landgræðslu ríkisins.

Loftmyndir sem notaðar voru í greiningar eru taldar upp í töflum 2 og 3. Myndirnar voru teknar í mismunandi flughæð sem hefur áhrif á greinihæfni myndanna. Dagsetningar á myndatökum geta í sumum tilfellum skýrt mun á vatnsmagni sem greinanlegt er á myndunum, líkt og ef myndirnar eru teknar á þeim árstíma þegar leysing í jökli er hafin.

Mynd 8 sýnir yfirgripsvæði þeirra mynda sem notaðar voru við landslagsgreiningu. Yfirgrips-svæði loftmyndaseríanna voru misstór og myndirnar skarast mismikið og hefur það áhrif á notagildi seríanna (Mynd 8). Farið var í myndatökur með misjöfn markmið í huga og því eru fluglínur ekki alltaf í sömu stefnu og stundum vantar hluta af athugunarsvæðinu inn á seríurnar. Efra kortið er af „hálendinu“ uppi við Skaftárjökul og neðra kortið er af „svæði í byggð“ þar sem Flögulón er meginviðfangsefnið ásamt farvegum í Eldhrauni. Svörtu skáskyggðu svæðin sýna meginathugunarsvæði og hver litarammi sýnir yfirgripsvæði hvernar seríu fyrir sig.

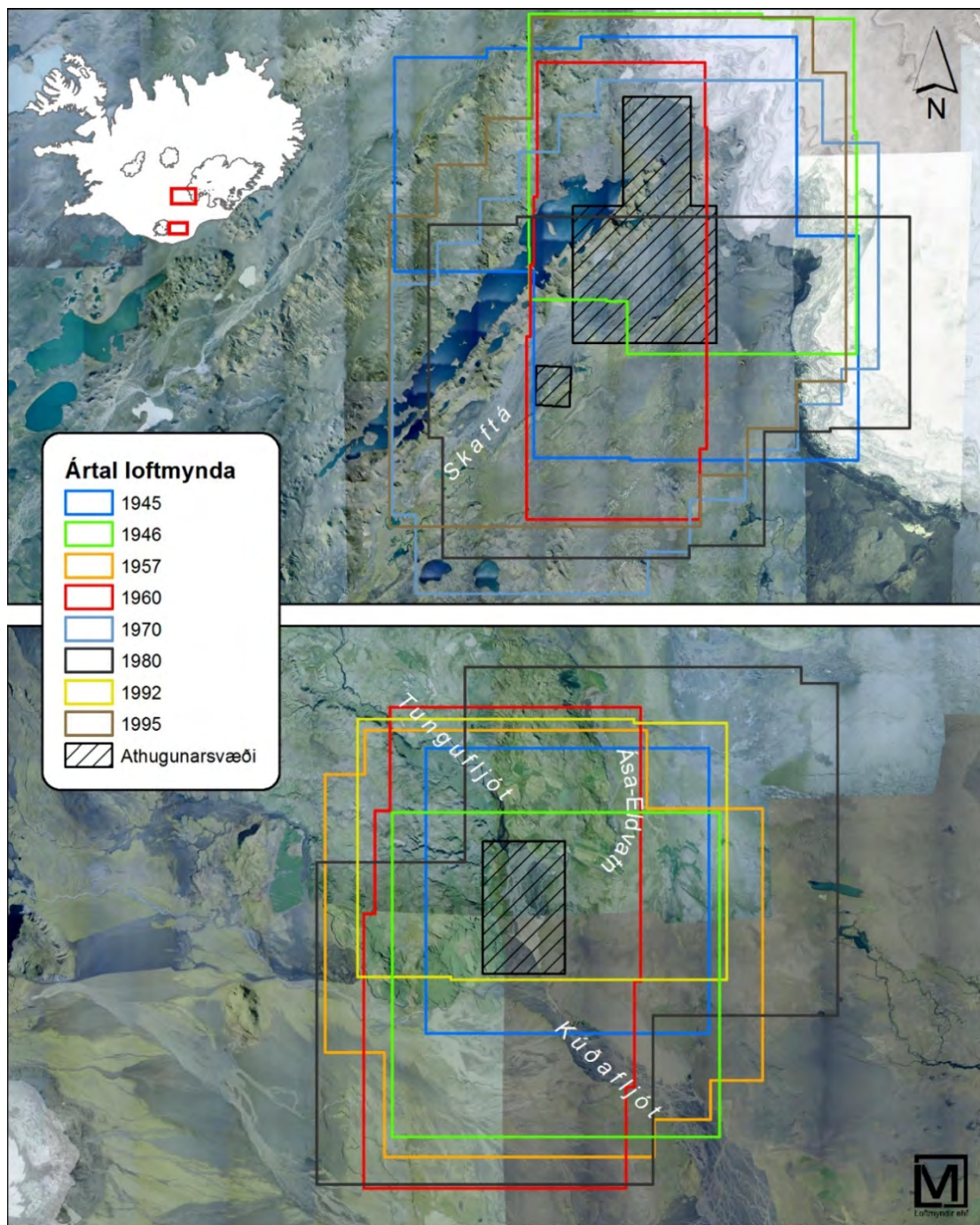
Tafla 2. Loftmyndir af Fögrufjöllum.

Safn	Fluglína	Myndir	Dagsetning myndatöku	Flughæð (m)
AMS	1210-1-1-46:49 B9	AMS-1210-11046.tif AMS-1210-11047.tif	30.08.1945	6888
AMS	1236-2-1-42:45 B31	AMS-1236-21042.tif AMS-1236-21044.tif	23.09.1945	6096
AMS	10005-2-1-001:005 B38	AMS-10005-21002.tif AMS-10005-21003.tif	29.08.1946	7010
AMS	10019-2-2-59:64 B43	AMS1001922060.tif; AMS1001922061.tif	09.09.1946	7025
DMA	8845-8849	DMA08845.tif DMA08847.tif	07.08.1960	5485
B21	5874-5892	B-5887.tif B5903.tif	03.09.1970	5210
F41	8524-8532	F41-F-8530.tif	28.07.1980;	6667
F44	8542-8553	F41-F-8533.tif F44-F-8542.tif F44-F-8543.tif	28.07.1980	
N17	3009–3026	N17-N-3009; N17-N-3026-3029	07.08.1995	6096
-	-	Loftmyndaþjónusta Loftmynda ehf.	01.08.2013	3206

Tafla 3. Loftmyndir og gervitunglamyndir af Flögulóni/Eldhrauni.

Safn	Fluglína	Myndir	Dagsetning myndatöku	Flughæð (m)
AMS	1206-2-1-94:97 B6	AMS0120621096.tif	29.08.1945	5943
AMS	10005-2-1-29:35 B38	AMS1000521033.tif	29.08.1946	4572
Li2	Li2-22-5104-5118	Li2_22_Li2-5108.tif; Li2_22_Li2-5127.tif; Li2_22_Li2-5128.tif	06.06.1957	4030
DMA	9720-9723	DMA09721.tif; DMA09722.tif	09.08.1960	5486
F44	F44-F-9399-9422	F44-F-9403.tif; F44-F-9404.tif	22.08.1980	6667
J28	J28-6247–6252	J28-J-6251.tif	17.7.1986*	5486
M08-M	M08-M-1603-1615	M08-M-1609.tif; M08-M-1610.tif; M08-M-1582-1584.tif*	07.08.1992	5486
-	Loftmyndir ehf 2002	Landsvirkjun*	18.08.2002	2000
-	Loftmyndaþjónusta	Loftmyndir ehf*	18.08.2014	3216
	Landsat 8	Mismunagreining milli mynda fyrir og eftir hlaup*		

* Myndir ekki staðsettar á Mynd 8.



Mynd 8. Yfirgripssvæði loftmyndasería sem notaðar voru við greiningar á setsöfnun. Hver rammi sýnir yfirgrip þess árs sem við á. Svartskyggðu svæðin eru athugunarsvæði. Á myndina vantar athugunarsvæði við Brest og Skálarál en þar voru stakar myndir notaðar ásamt gervitunglamyndum.

4.2 ArcticDEM landlíkan

Í verkefninu var stuðst við ArcticDEM landlíkan (Polar Geospatial Center, 2016). Líkanið nær til alls Norðurheimskaútssvæðisins í 2x2 m upplausn, unnið upp úr WorldView gervitungla-myndum í samstarfi ýmsa bandarískra aðila. Sá hluti landlíkansins sem notaður var hér var unnin eftir gervitunglamyndum frá 26. október 2015. Nánari umfjöllun um líkanið og leiðréttingar á því má sjá í skýrslu um umfang Skaftárhlaups 2015 (Emmanuel Pagneux o.fl., í vinnslu).

4.3 Landlíkan Landsvirkjunar frá 2003

Landlíkan Landsvirkjunar sem hér eftir er kallað LV-2003 er unnið eftir loftmyndum sem teknar voru af Lofmyndum ehf. 14.08.2002. Punktaskrár á .dgn formi sem innihéldu upplýsingar um hæðir voru notaðar til að útbúa TIN í ArcGIS hugbúnaði sem síðan var breytt í rastaskrá með myndeiningastærðina 2x2 m til samræmis við ArcticDEM líkanið. Við gerð líkansins á sínum tíma voru mæld fastmerki á jörðu niðri.

Við samanburð líkananna kom í ljós skekkja í hæð í LV2003 líkaninu. Gert var ráð fyrir að ArcticDEM líkanið hefði „réttu“ hæð þar sem það hefur verið leiðrétt með nýjustu upplýsingum eins og lýst er í skýrslu um umfang Skaftárhlaups 2015 (Emmanuel Pagneux o.fl., í vinnslu). Valin voru svæði sem talin voru óhreyfð og borin saman við hæðir í ArcticDEM líkaninu og það seinna notað til að leiðrétta það fyrra (sjá nánar í Viðauka V).

5 Greining loftmynda, ljósmynda og landlíkana

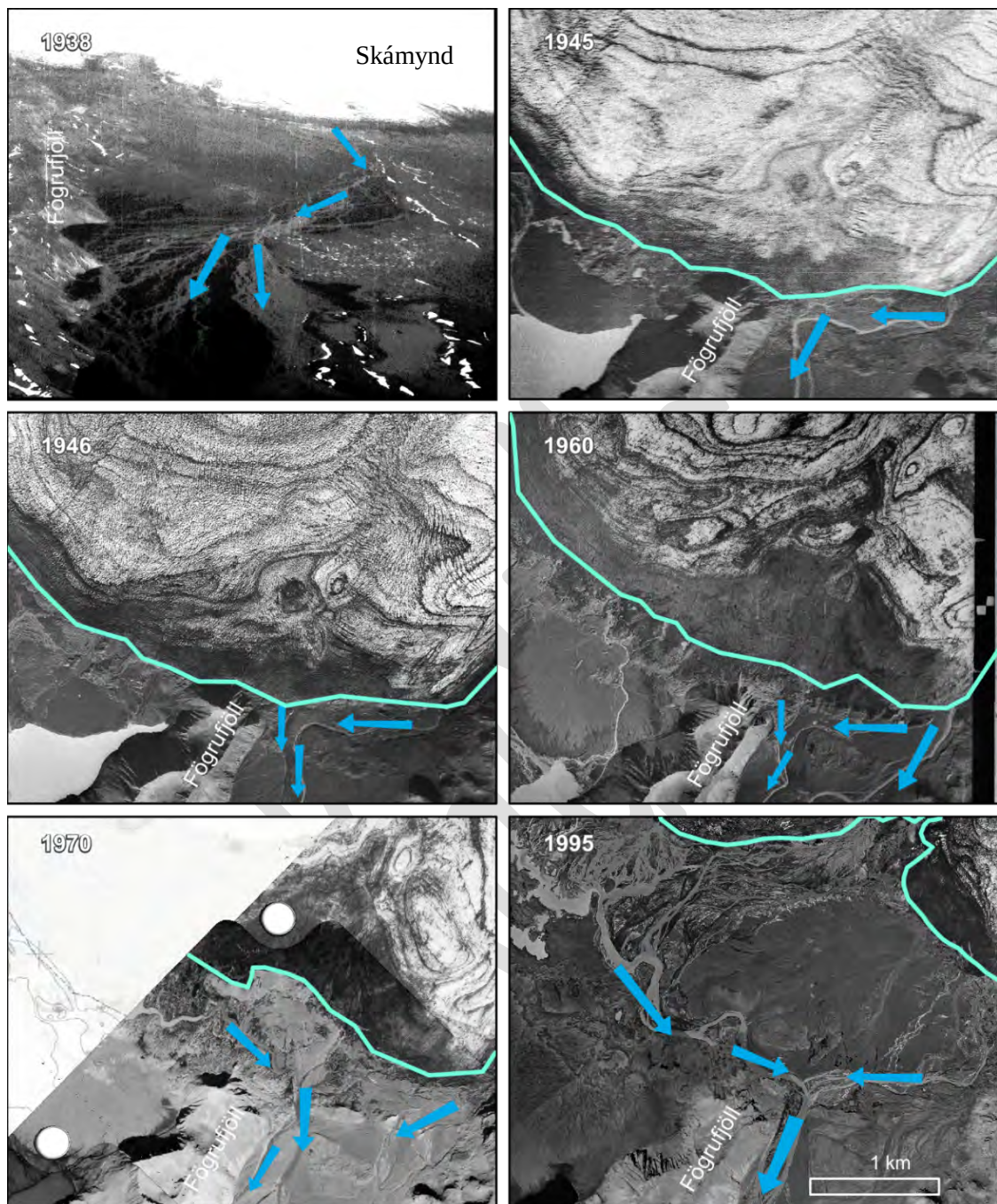
Mikill fjöldi loftmynda og ljósmynda var skoðaður og að lokum voru valin ákveðin pör loftmynda sem sýndu vel þau ferli sem voru til athugunar. Reynt var að velja myndir frá svipuðum tímabilum fyrir bæði hálendið og svæðið í byggð en stundum var því ekki við komið. T.d. eru engar myndir til frá árinu 1970 fyrir svæðið í byggð og ekki heldur frá árinu 1995. Myndir frá 1992 því notaðar fyrir neðra svæðið en myndir frá 1995 fyrir hálendið.

5.1 Hálendið

Hér er um að ræða greiningu á svæðinu uppi við Skaftárjökul og suðvestur eftir Langasjó (sjá efri hluta á Mynd 8). Skoðuð var uppbygging aurkeilu austan við Fögrufjöll og fylling stöðuvatns sunnan hennar. Greiningin fólst í samanburði á loftmyndum annars vegar og mismunagreiningu landlíkana (kafla 3.2) hins vegar. Niðurstöðurnar voru síðan bornar saman við tölur um framburð í hlaupum.

5.1.1 Þróun keilu við Fögrufjöll

Útbreiðsla aurkeilunnar við Fögrufjöll var skoðuð á loftmyndum frá mismunandi tímum. Fyrstu myndirnar eru skámyndir frá árinu 1938 en fyrstu loftmyndirnar voru teknar 1945 og sýna þær vel hvernig jökullinn liggur að Fögrufjöllum þannig að afrennsli undan jöklinum fer í Langasjó (Mynd 9). Á kortblaðinu „Ljósufjöll“, sem er úr kortaseríu AMS C752 – kort bandaríska hersins – og er gert m.a. eftir loftmyndum frá 1945–1946, má sjá keiluna við Fögrufjöll. Hún er teiknuð sem óvirk, þ.e.a.s. farvegur árinna rennur meðfram keilunni (sjá Viðauka III). Loftmyndir af neðri hluta keilunnar frá 1945 eru hins vegar nokkuð skýjaðar og því erfitt að staðfesta að svo hafi verið en túlkun kortagerðamanna frá þessum tíma benda til að keilan hafi verið óvirk.



Mynd 9. Breytingar á Skaftárjökli og landslagi framan við jökulinn á milli árunna 1938 og 1995. Skámynd frá árinu 1938 (efst til vinstri) og loftmyndir frá mismunandi árum (ártal er efst í vinstra horni hvernar myndar). Loftmyndirnar hafa mismunandi yfirgrip en glugginn sýnir sama landsvæði á þeim öllum. Bláar örvar sýna helstu leiðir frárennslis frá jöklinum. Grænbláar línur sýna jökuljaðar.

Skámyndir frá 1938 (sjá Mynd 9) benda til þess að þetta hafi verið raunin. Ef gengið er út frá ofansögðu má reikna með að keilan hafi ekki verið virk í það minnsta frá því nokkru fyrir 1890 þegar jökull var í hámarki og þar til jökull hörfaði frá Fögrufjöllum uppúr 1945 (sjá Mynd 9).

Milli áranna 1945 og 1946 hljóp Skaftárjökull fram og við það tók landið framan við hann miklum breytingum (Mynd 9). Vatn fór að koma fram vestar og við það tók vatn að renna út á keiluna.

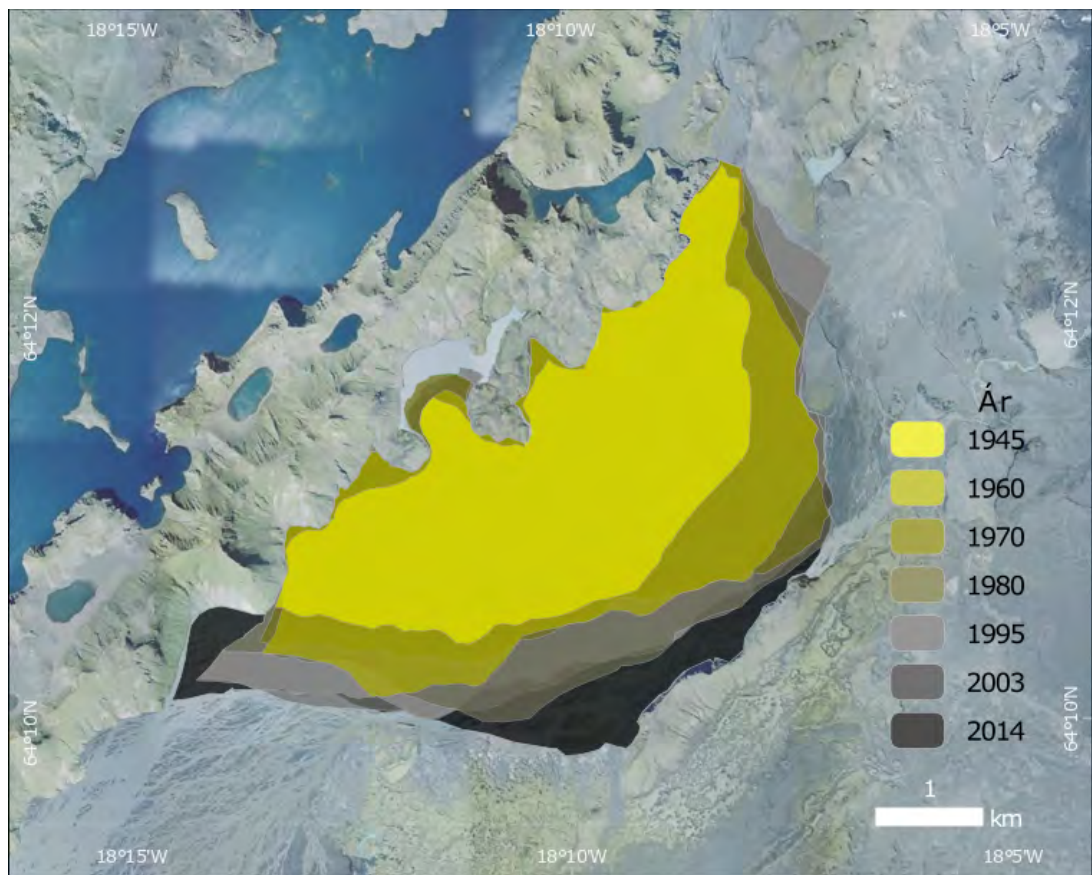
Mælingar á hörfun jökulsporðsins sýna að frá 1945–1960 hopar jökullinn um 220 m eða um 14 m á ári. Síðan jókst hraðinn og milli áranna 1960–1970 var hörfunin um 30 m á ári. Á myndinni frá 1995 er framhlaupi ný lokið í jöklinum og reiknast hörfun milli mynda frá 1970–1995 vera um 28 m á ári (Mynd 9).

Á Mynd 9 má einnig sjá hvernig farvegur hefur myndast austast á myndinni frá 1960 og út á keiluna sem er fyrir sunnan. Á loftmynd frá 1960 má sjá að keilan er orðin virk (sjá myndaröð í Viðauka III). Á myndaröðinni sem tekin var þá má sjá að keilan er þakin farvegum og efni er tekið að hlaðast upp á nýjan leik. Keilan hafði stækkað og þróast frá 1960 en sjá má á myndum frá 1995 að útlínur keilunnar sveiflast eftir ástandi meginfarvegarins sem rennur meðfram keilunni. Loftmyndin frá 1995 er tekin stuttu eftir stórt hlaup og hlaupið virðist hafa grafið talsvert af eystri hluta keilunnar sem sjá má á myndum frá 1980 (sjá myndaröð í Viðauka III). Útlínur keilunnar voru teiknaðar miðað við þessa greiningu (Mynd 10) og verður nánar fjallað um hana hér fyrir neðan.

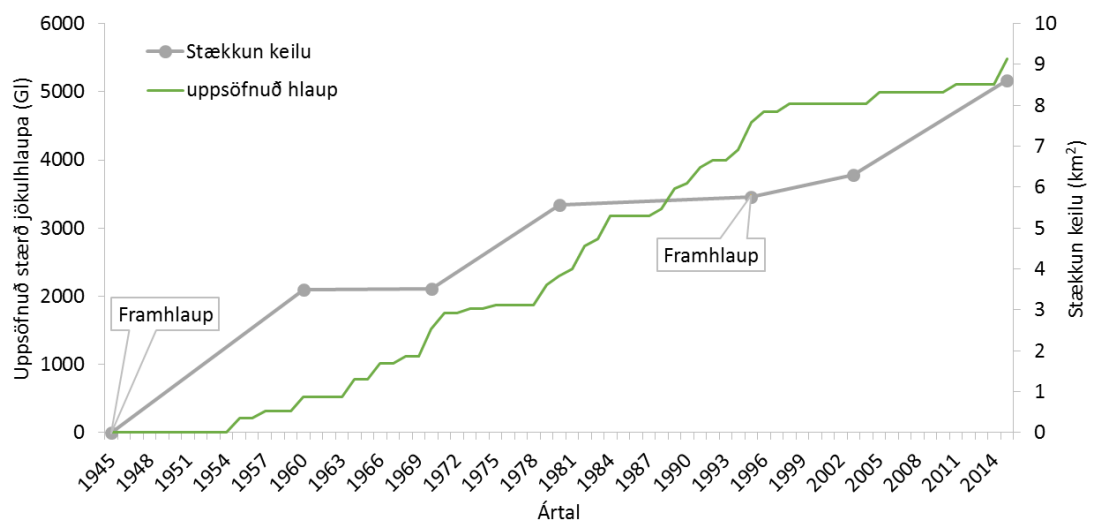
5.1.2 Flatarmálmælingar

Útlínur Fögrufjallakeilunnar voru teiknaðar eftir loftmyndum eins og áður kom fram og var meginfarvegurinn sem rennur í SA og síðan SV meðfram keilunni notaður til að afmarka stærð hennar. Þróun á útbreiðslu keilunnar má sjá á Mynd 10. Hver fláki sýnir útbreiðslu keilunnar á loftmynd þess árs. Stækkun hennar hefur ekki verið jöfn heldur hefur hún haldist í hendur við rof og aukinn framburð vegna framhlaupa Skaftárjökuls (1945–1946 og 1995) og hlaupa úr Skaftárkötlum. Við hop jökulsins hafa farvegir framan við hann einnig breyst mikið og virðist sem vatnsmagn hafi aukist í NA kvíslinni eins og má greina á loftmyndum frá 1995 sem rennur saman við „meginfarveginn“ (sjá Viðauka III). Við þá aukningu tekur að étast af NA hluta keilunnar sem hafði verið að byggjast upp árin á undan. Þannig er ljóst að þetta er ekki einfalt ferli heldur er áin að selflytja í átt til sjávar aukið framboð af aur sem verður til við hlaup og eða framhlaup jökulsins. Í hlaupum, þegar mest gengur á rýfur vatnsflaumurinn hins vegar hluta keilunnar sem síðan byggist upp að hluta á milli hlaupa.

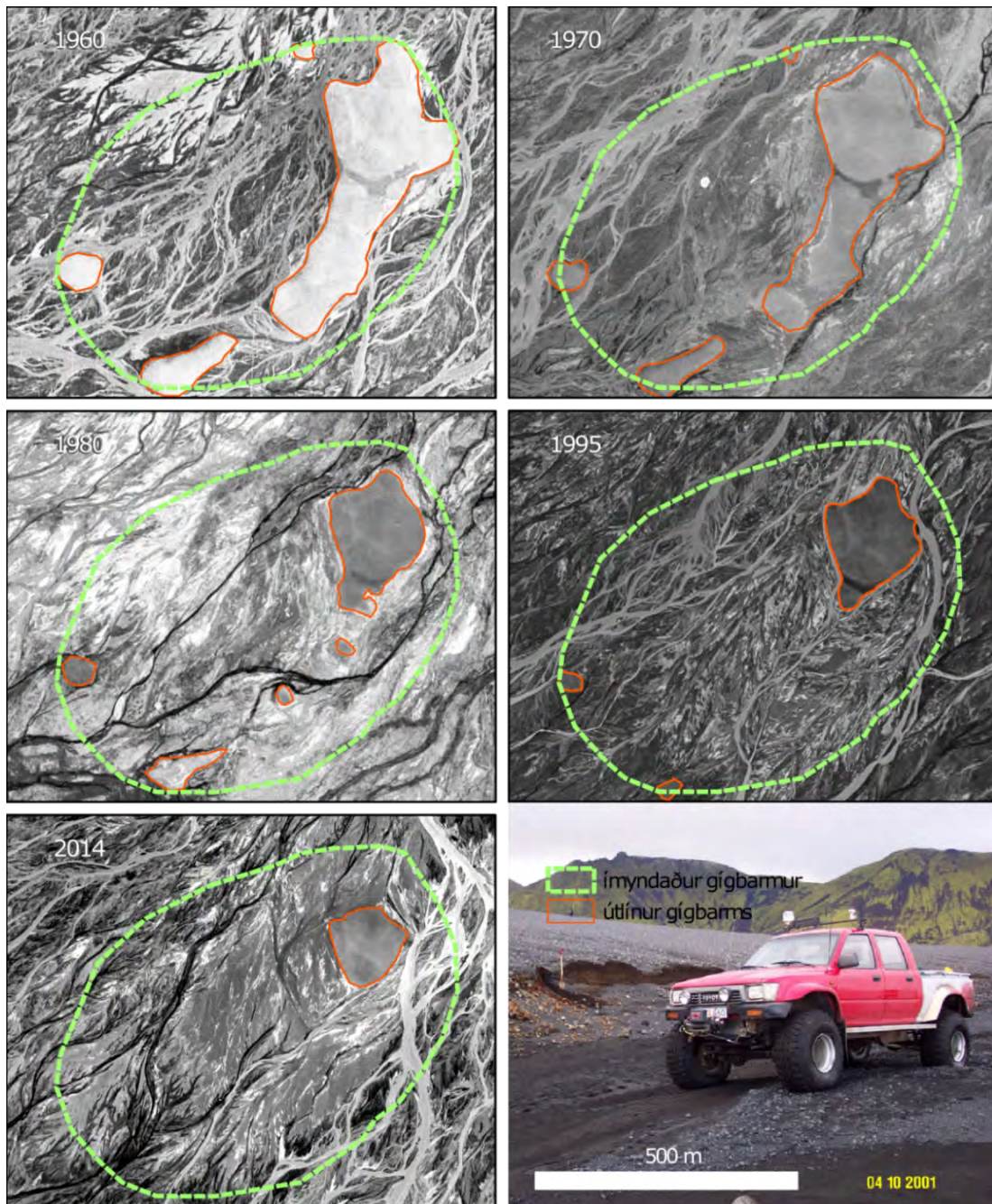
Flatarmál hvers fláka var reiknað í ArcGIS og sjá má þróun á stærð hennar á Mynd 11. Þar sést að þetta er ekki jöfn stækkun heldur hafa framhlaupin greinilega áhrif. Einnig er greinileg aukning á útbreiðslu keilunnar milli áranna 1970–1980. Uppsöfnuð stærð jökulhlaupa kemur nokkuð vel saman við stækkun keilunnar. Hins vegar fylgjast línurnar ekki að á tímabilinu 1985–1995 þar sem keilan vex ekki með sama hraða og hlaupin. Líklega á það sér skýringu í því sem áður var rætt, að loftmyndin frá 1995 er tekin stuttu eftir hlaup þar sem skorist hefur af keilunni. Við framhlaup jökulsins árið 1995 var einnig mikil breyting á farvegum framan við jökulinn eins og gerðist 1945 og rætt var hér að ofan. Við það tekur vatn að renna austar (sjá Mynd 9 og Viðauka III), talsvert af efni safnast þar fyrir og má sjá að nýjar keilur taka að myndast.



Mynd 10. Breytingar á útlínun keilu við Fögrufjöll yfir árabilið 1945–2015. Hver fláki sýnir útbreiðslu keilunnar eins og hún var þegar loftmyndin var tekin.



Mynd 11. Breytingar á flatarmáli keilu við Fögrufjöll yfir árabilið 1945–2015 ásamt uppsafnaðri stærð jökulhlaupa. Aukning í flatarmáli keilunnar er ekki jöfn heldur hafa framhlaup Skaftárjökuls sem hafa orðið á þessum tíma áhrif til aukningar en einnig tíðni og stærð jökulhlaupa. Tímasetningar framhlaupa í Skaftárjökli eru merktar á grafið.



Mynd 12. Loftmyndir frá mismunandi tímum með útlínum af gíg sem er að hverfa í sandinn, neðarlega á aurkeilunni. Útlínur gígbarmsins eru merktar með rauðu og ágiskað útlína gígbarmsins græn punktalína. Neðst í hægra horni er ljósmynd af bíl sem stendur við gíginn til stærðarviðmiðunar (ljósmynd: Gunnar Viðarsson).

5.1.3 Rúmmálsmælingar

Uppbyggingu aurkeilunnar við Fögrufjöll má einnig sjá með því að skoða útlínur gígs sem er neðarlega á aurkeilunni; staðsetning hans er merk á Mynd 5. Ekki er unnt að magntaka uppbygginguna þar sem mælingar á hæð gígsins skortir. Hins vegar gefur myndaröðin góða yfirsýn yfir þróunina sem hefur verið á þessum árum. Gígurinn er myndaður í Eldgjárgosinu 934 (Larsen o.fl., 2013) og er nyrsti gígurinn í gígaröðinni.

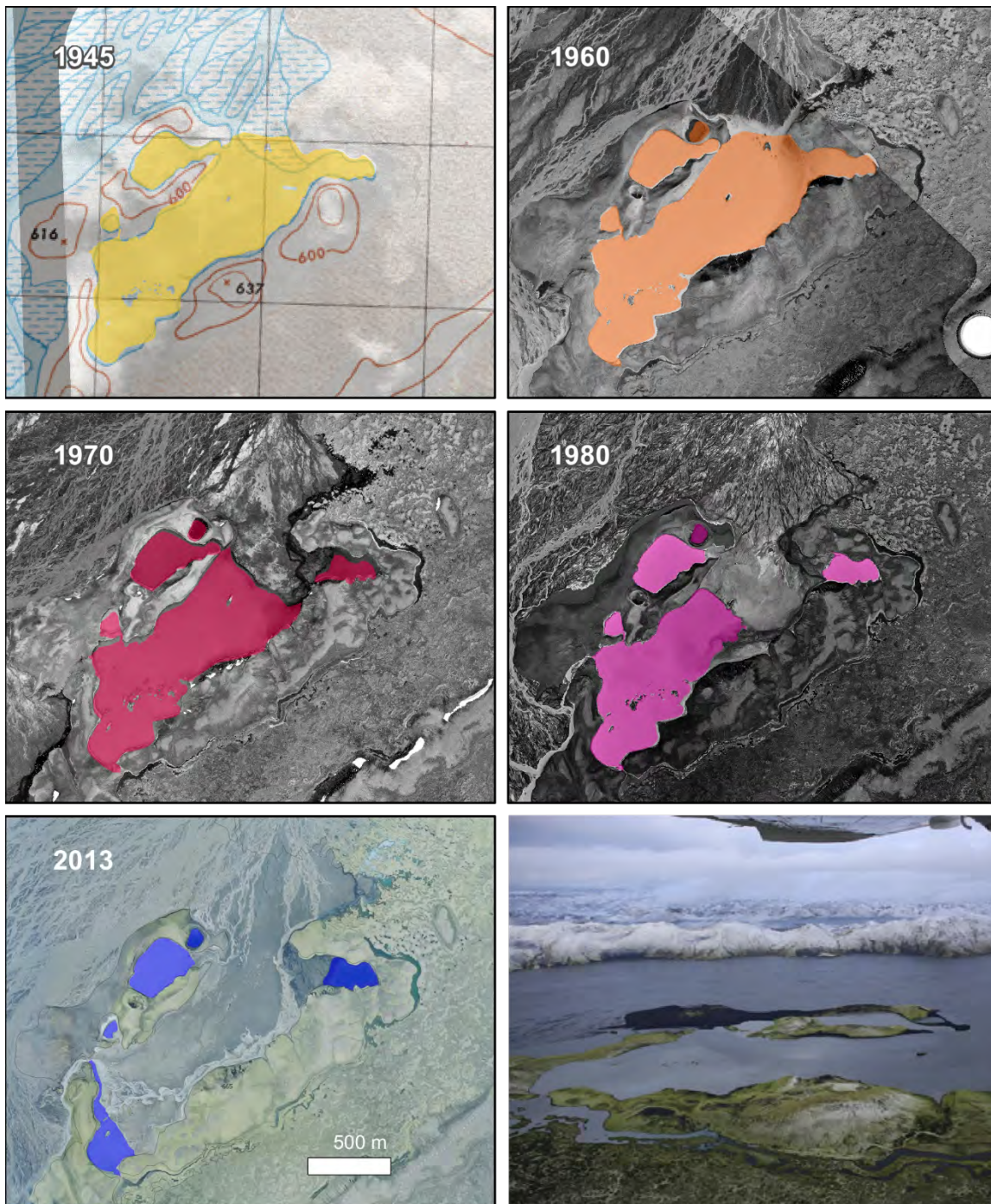
Loftmyndirnar á Mynd 12 sýna vel að mikið efni hefur hlaðist upp í kringum gíg sem er um það bil að hverfa í aurkeiluna. Ljósmyndin neðst í hægra horninu er tekin í október 2001 og sýnir bíl sem stendur við gíginn. Bíllinn sýnir hvaða stærðarhlutföll er um að ræða er og maður á myndinni sem stendur á gígnum (inni í rauða skýringarreitnum) gefur einnig hugmynd um stærð gígsins. Raunar má greina gíginn á landlíkani Landsvirkjunar frá 2003 og bendir sú greining (sjá hér að neðan) til að hann hafi lækkað um 20–30 cm og bendir það til rofs af völdum foks því vatn hefur ekki runnið yfir hann. Þær tölur eru hins vegar mjög nálægt greinihæfni líkansins og því ekki marktækar og því óvíst hvort rof hafi orðið vegna foks.

Við nánari greiningu loftmynda kom í ljós að stöðuvatn sunnan við keilu sem sást á AMS korti frá 1945 (sbr. Mynd 13) hefur fyllst af framburði árinna. Greina má á ljósmyndum frá 2015 að þar sem áður var innrennsli í vatnið er þá orðið að útfalli. Því er hægt að segja að svæðið hafi verið orðið fullt af seti árið 2015. Með því að draga útlínur vatnsins af myndum eða kortum frá mismunandi tímum má reikna uppbyggingarhraða setsins. Tafla 4 sýnir hvernig flatarmál vatnsins hefur minnkað með tíma. Dýpt stöðuvatnsins á myndunum er með öllu óþekkt svo ekki er unnt að meta rúmmálsaukninguna með vissu. Hins vegar má með því að gefa sér ákveðnar forsendur áætla stærðargráðu framburðar Skaftár á þessu svæði fyrir tímabilið 1945–2013. Vitað er að allt fínefni sem alla jafna berst sem svifaur safnast fyrir í stöðuvötnum sem þessum, ólíkt því sem gerist á keilunni sem lýst var hér að ofan. Tafla 4 sýnir rúmmálsaukningu fyllingarinnar miðað við að vatnið væri 0,5 m, 1 m eða 2 m djúpt í upphafi.

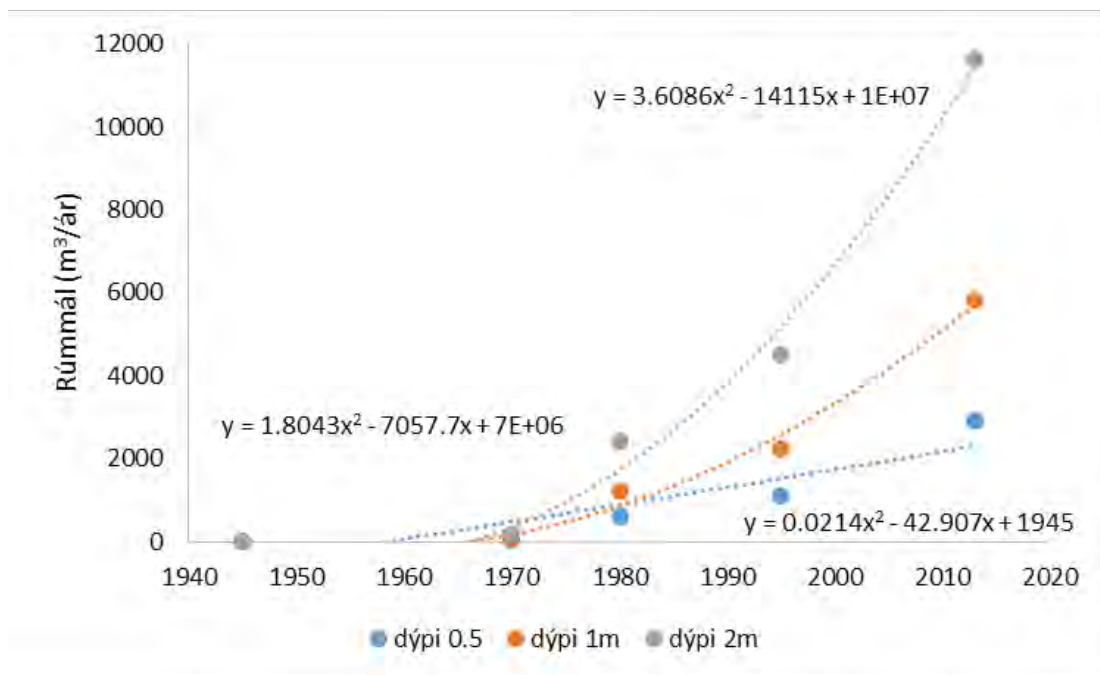
Gróflega áætlað þarf um 7000 m³ af seti til að fylla upp þetta svæði ef gert er ráð fyrir að stöðuvatnið á mynd frá 1945 hafi verið um 2 m djúpt að meðaltali. Upphleðsluhraði hefur samt sem áður ekki verið jafn en jókst verulega eftir 1970 (Tafla 4) sem samræmist niðurstöðum mælinga á útbreiðslu Fögrufjallakeilunnar.

Tafla 4. Mat á rúmmálsaukningu fyllingar í stöðuvatni sunnan Fögrufjallakeilunnar yfir árabilið 1945–2014 miðað við mismunandi upphafsdýpt vatnsins.

Ártal	Tími (ár)	Flatarmál stöðuvatns (m ²)	Rúmmálsaukning fyllingar (m ³)		
			0,5 m dýpt	1 m dýpt	2 m dýpt
1945	0	7921	0	0	0
1970	25	7833	44	88	176
1980	10	6705	564	1128	2256
1995	15	5673	516	1032	2063
2013	18	2100	1787	3573	7146



Mynd 13. Kort af fyllingu stöðuvatns sunnan við Fögrufjallakeiluna frá mismunandi árum. Ljósmyndin neðst í hægra horninu sem tekin er í hlaupi 2015 sýnir að innrennslið sem sést á loftmynd frá 1980 hefur breyst í útfall (ljósmynd: Oddur Sigurðsson).



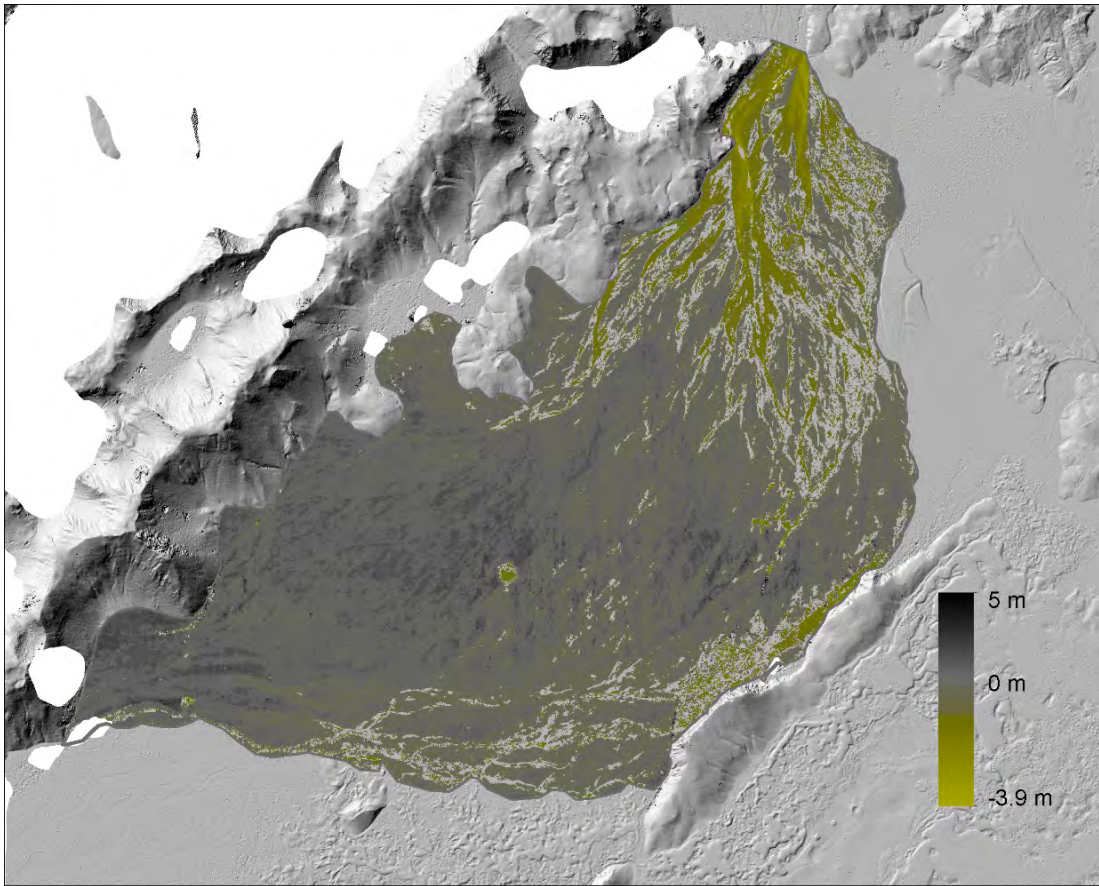
Mynd 14. Framburður sets á svæðinu yfir árabilið 1945–2013 miðað við mismunandi upphafsdýpi vatnsins. Framburður fer vaxandi með tíma en vöxturinn er ekki línulegur.

Framburður inn á svæðið er vaxandi en vöxturinn er ólínulegur (Mynd 14) og fellur hann ágætlega að jöfnu annars stigs margliðu. Hafa verður í huga að greining sem þessi byggir á myndum sem teknar eru eitt ákveðið augnablik. Hver vatnsstaðan var einmitt þennan dag miðað við aðra daga eða önnur ár er ekki augljóst og ekki eru til rennslismælingar sem ná nógu langt aftur til að kanna það. Hins vegar voru skoðaðar ljósmyndir frá mismunandi tímum sem sýna að aðeins í hlaupum er svæðið umflotið vatni (sjá myndaseríu í Viðauka IV). Þess á milli er setfyllingin hægt vaxandi. Einnig sést á ljósmynd frá 2015 að tekið er að renna úr stöðuvatninu en engar eldri myndir fundust sem sýndu þetta.

5.1.4 Rúmmál reiknað með samanburði Landlíkans LV 2003 við ArcticDEM

Rúmmál Fögrufjallakeilunnar var reiknað með því að draga útklippt landlíkan Landsvirkjunar af aurkeilunni sem gildi fyrir stöðuna á árinu 2003 (LV-2003) frá landlíkani af aurkeilunni frá árinu 2015 (ArcticDEM). Notuð var GCD viðbótin með aðferð Wheaton o.fl. (2010). Nánar er skýrt frá aðferðinni og hvernig henni var beitt á gögnin í Viðauka VI en í stuttu máli var líkan með 20 cm óvissu valið líkt og mælt er með í Wheaton o.fl. (2010). Þetta gildi var valið út frá skekkju sem metin var milli líkananna og rætt var um í kafla 4 og nánar í Viðauka VI. Af þessum sökum eru göt í mismunarastanum þar sem mismunur var 20 cm til eða frá og því sést skygging landlíkansins í gegn (Mynd 15). Þar sem mismunarastinn er grænn hefur rof átt sér stað en dökkgrár og út í svartan þar sem upphleðsla sets hefur orðið.

Meðalþykkt setsöfnunar á keilunni á árabilinu 2003 til 2015 er um 93 cm eða um 8 cm á ári.



Mynd 15. Rúmmálsbreytingar á keilu við Fögrufjöll reiknaðar út frá mismuni milli landlíkananna LV2003 og ArcticDEM.

5.1.5 Setsöfnun á hálendinu

Setsöfnunin á hálendinu er einkum bundin við keiluna við Fögrufjöll og síðan stöðuvatnið sem fjallað eru um í kafla 5.1.3.

Til að reikna þyngd setsins sem byggir upp keiluna við Fögrufjöll þarf að þekkja rúmþyngd efnisins. Þannig má einnig bera saman setsöfnun við framburðarmælingar sem gerðar eru með vatnssýnum. Þar sem ekki eru til staðar kornastærðargreiningar á efni keilunnar var leitað í töflu yfir rúmþyngd jarðefna sem fengin er úr ÍST15, 2002 Bæklingi RB um Grundun húsa (Rb(L4).102. Þar kemur fram að vot rúmþyngd samskonar efnis er á bilinu 19–21,5 kN/m³.

Samkvæmt þessum útreikningum þegar miðað er við 20 cm óvissu milli landlíkana hafa bæst við 24 milljónir tonna við keiluna yfir árabilið 2003–2015 $\pm$ 5,4 milljón tonn vegna óvissu í landlíkani og $\pm$ 2,6 milljón tonn vegna óvissu í rúmþyngd efnisins. Árleg uppsöfnun er því 2 milljón tonn $\pm$ 0,4 milljón tonn vegna ónákvæmni landlíkana og $\pm$ 0,2 milljón tonn vegna óvissu í rúmþyngd efnisins. Rúmþyngd á efni keilunnar er líkleg til að vera hærri en stöðuvatnasetsins því reikna má með minna poruhlutfalli í svo grófkorna efni.

Tafla 5. Niðurstöður rúmmálsreikninga á Fögrufjallakeilu miðað við keilu með 20 cm óvissu í hæð.

Rúmþyngd	Þyngd sets uppsafnað			Setsöfnun
	Alls millj.tonn	Á ári millj. tonn	Skekkja 20 cm = 21 %	
kN/m ³ *				þús. tonn/km ² /ár
18	21,6	1,9	0,41	116
20	24,0	2,1	0,45	129
22	26,4	2,3	0,50	142

*Við útreikninga á þyngd efnis var stuðst við: Vatn við 5°C 9,807 kN/m³ => 1 kílógramm-kraftur(f) er sama sem 0,00980665 kíló-newton => kg-f/m³ * 0,00980665 = kN/m³

Hvað varðar stöðuvatnið þarf að hafa í huga að þótt dýpt þess hafi verið varlega áætluð er nokkuð mikil óvissa í þeim útreikningum. Ákveðið var að notast aðeins við eitt rúmþyngdargildi fyrir stöðuvatnið líkt og gert er þegar fylling lóna er reiknuð. Gildið 18 kN/m³ var valið miðað við að bæði fínefni og gróft er líklegt til að hafa sest til í stöðuvatninu. Tafla 6 sýnir setsöfnun á Fögrufjallakeilunni og í stöðuvatninu.

Tafla 6. Setsöfnun á keilu og í stöðuvatni.

	Rúmþyngd	Þyngd efnis (tonn)**		Flatar- mál	Setsöfnun (millj. tonn/ km ² /ár)	Þykkun (cm/ár)
	kN/m ³ *	Allt tímabilið	Á ári			
Stöðuvatn	18*	13 þús.	0,7 þús.	7921 m ²	0,09	5
Keila	20*	24 millj.	2,1 millj.	16,5 km ²	0,13	6

* Óvissa í rúmþyngd ** Miðað við 2ja metra djúpt stöðuvatn

Af þessu má álykta að a.m.k. 7,5 milljón tonn af efni fari af stað árlega frá jökuljaðrinum og af þeim sitji 2 milljón tonn eftir í keilunni en 5,5 milljón tonn flytjast áfram niður farveginn skv. mælingum á samanlögðum svif- og skriðursframburði við Sveinstind (kafla 2.3 og Viðauki II).

Einnig má sjá í Viðauka II að 1,1 milljón tonn af svifaur hefur bæst við þegar komið er niður undir Skaftárdal eða 6,3 milljón tonn að meðaltali á ári fyrir tímabilið eftir 1995. Skriðursframburður hefur ekki verið endurreiknaður fyrir Skaftárdal.

5.2 Svæði í byggð

Framburður Skaftár er breytilegur niður eftir farveginum. Áður hefur komið fram að neðan Skaftárdals skiptist Skaftá í tvo megin farvegi og liggur annar um Eldvatn framhjá Ásum og gegnum Flögulón þar sem Skaftá sameinast Hólmsá og myndar Kúðafljót, en hinn rennur framhjá Kirkjubæjarklaustri. Þriðji farvegurinn ef svo má segja eru Árkvísar sem renna út á Eldhraun. Þegar Árkvísar runnu fram í hraunið um miðja síðustu öld féllu þær í allmikla rennslissprungu í hrauninu u.þ.b. þar sem þjóðvegurinn er núna. Slíkar sprungur kalla heimamenn bresti. Nafnið Brestur festist þá við neðsta hluta Árkvísla og er í seinni tíð oft notað um Árkvísar í heild.

Svæðið frá eyðibýlinu Á í norðri að Fljótsbotni í suðri, Tungulæk í austri og Flögulóni í vestri var skoðað á mismunandi loftmyndum og gervitunglamyndum. Flögulón var eina svæðið þar sem greining loftmynda var gerð fyrir mörg tímabil (sjá neðri hluta á Mynd 8). Notuð voru mismunandi gögn við greiningu á árkvíslunum í Eldhrauni eins og fram kom í kafla 3. Þar með talið voru greiningar sem Landgræðsla ríkisins hefur unnið árin 2005, 2012 og 2015 en einnig greining á gervitunglamyndum stuttu fyrir og eftir hlaupið í október 2015. Nánar er fjallað um myndun Flögulóns í Innslagi 2.

Um myndun Flögunóns

Jón Steingrímsson segir frá myndun Flögunóns í Eldritinu, sem er samtímaheimild um Skaftárelda (Jón Steingrímsson, 1973). Flögunón varð til í Skaftáreldum og þar safnaðist drjúgt lón sem stóð uppi um hríð í elds-umbrotunum. Jón Steingrímsson segir svo í Eldritinu um Flögunón: „Hélt svo þetta eldflóð í Kúðafljót, fyllti upp mikið þess farveg, rann svo langan veg ofan eftir honum, og stansaði nokkurn spöl fyrir ofan Leiðvöll; hér af uppstíflaðist Tungufljótið og Hólmsá hjá Hrífunesi. Varð svo allt einn vatnsfjörður upp í Fauskalækjargljúfurs melakolla, yfir Flöguengjar og inn á Hemruvað. En eftir því, sem þetta vatn gat upp brotið Hrífuneshólma að austan og land-norðanverðu, svo fór það aftur að þverra á Flöguengjum og þar um pláss.“ Eftir að Eldhraunið rann fóru kvíslar að renna fram af hrauninu.

Herfingjaráðskort frá árinu 1905 sem sýnir farveg Eldvatns áður en keilan í Flögunóni tók að myndast

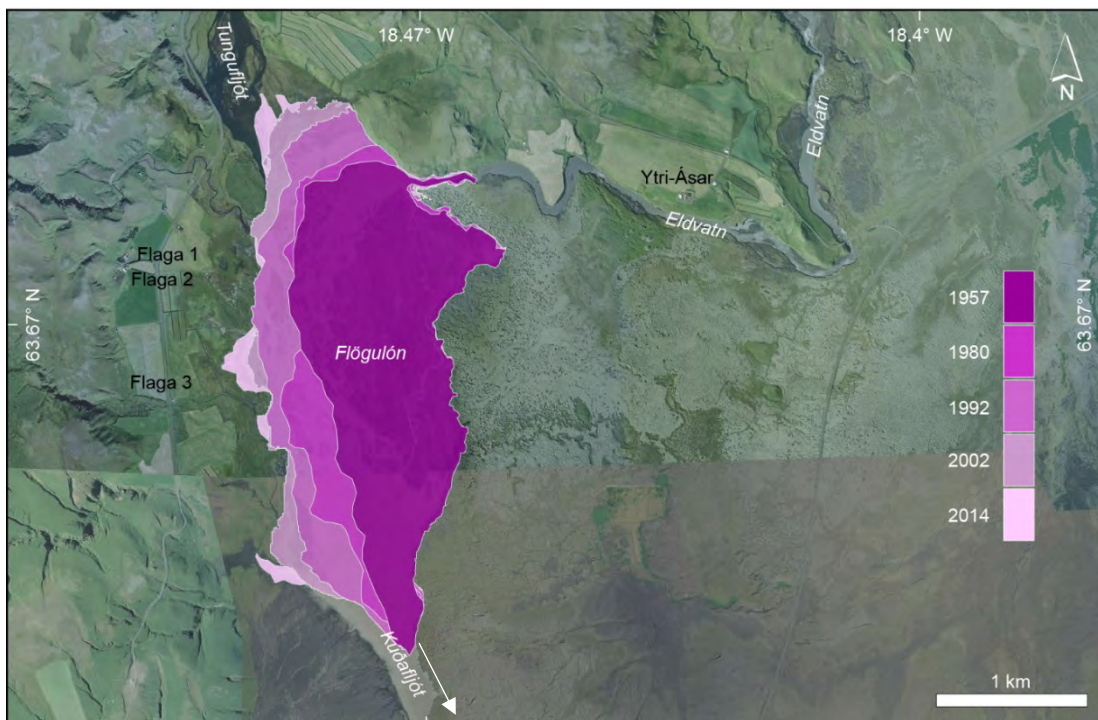
Hólmsá og gróf út farveg hennar neðan við brúna að Hrífunesi og bætti við stífluna í Kúðafljóti sem Eldhraunið myndaði. Aurkeila Hólmsár (neðarlega t.v. á báðum myndum) stækkaði verulega í Kötluhlaupinu 1918 og jók flatarmál Flögunóns. Eldvatn við Ása rennur í Flögunón og við það dregur úr vatnshraðanum og Flögunónskeilan tók að myndast einhvern tímann eftir 1918 (neðri mynd). Flögunónskeilan stækkar jafnt og þétt í vestur því að aurinn kemur úr austri (bæði úr Ása Eldvatni og hraunkvíslunum þar fyrir sunnan) en einnig í hlaupum. Tungufljótið þrengir sér meðfram vesturbakkanum og grefur stundum úr keilunni vestast.

Næsti stóratburður í sögu Flögunóns er Kötluhlaupið 1918. Hluti hlaupsins fór í



Afstaða Flögunónskeilunnar við Hólmsárkeiluna eins og hún er í dag. Kortagögn frá LMÍ ÍS50V 3.4. og Eldhraunspækja með bleikum lit löað ofan á.

Innslag 2. Um myndun Flögunóns.



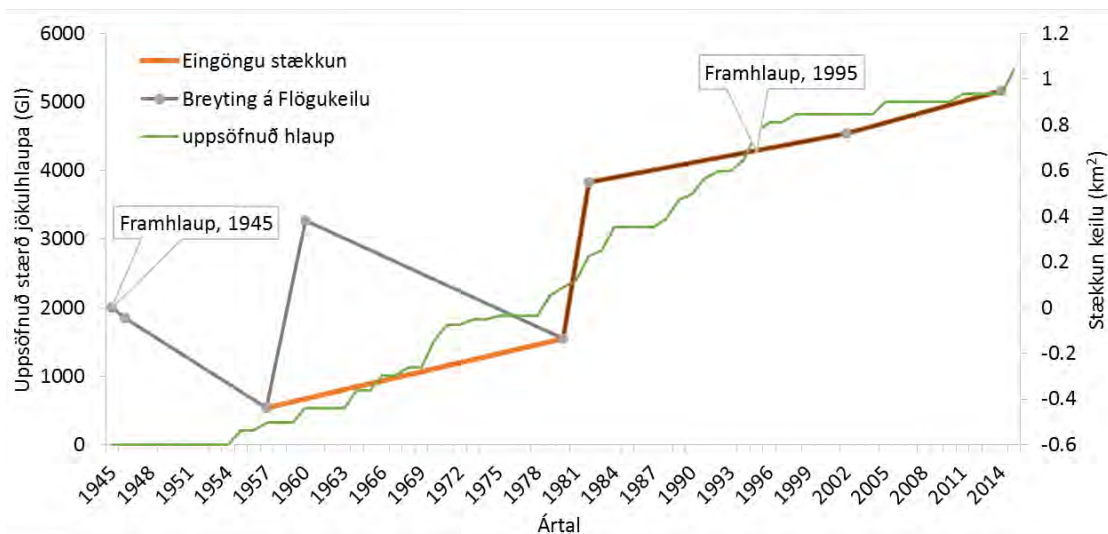
Mynd 16. Þróun útbreiðslu keilu í Flöngulóni yfir árabilið 1957–2014. Litirnir sýna útbreiðslu þau ár sem myndirnar eru teknar. Upphleðslan á tímabilinu er til vesturs því hraunið heldur við til austurs.

5.2.1 Þróun keilu við Flöngulón

Keilan sem hefur verið að myndast á mótum Ása-Eldvatns og Hólmsár í Flöngulóni var skoðuð sérstaklega. Greining var gerð á loftmyndum sem teknar voru 1945, 1946, 1957, 1960, 1980, 1992, 2002 og 2014. Á Mynd 16 má sjá útlínur keilunnar sem dregnar voru eftir loftmyndum 1957, 1980, 1992, 2002 og 2014.

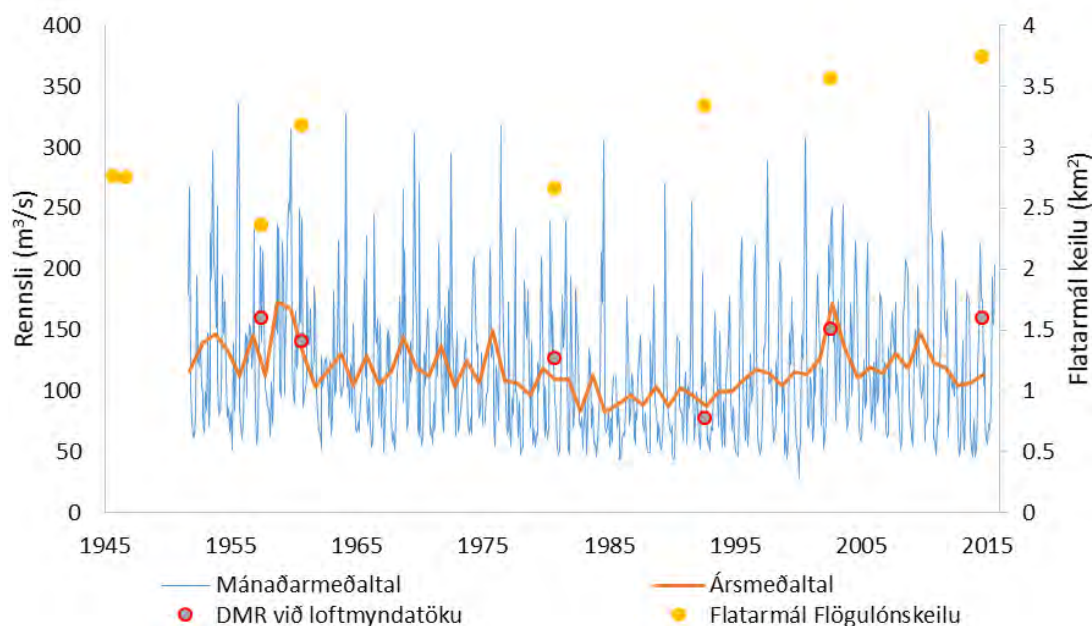
Breyting á flatarmáli keilunnar með tíma var teiknuð á graf ásamt uppsöfnuðu hlaupmagni Skaftárhlaupa (Mynd 17). Þar kemur skýrt fram að keilan hefur ekki stækkað jafnt, heldur hefur upphleðsluhraðinn verið breytilegur. Gráa línan sýnir þróun miðað við allar myndir sem skoðaðar voru en appelsínugula línan sýnir stækkandi keilu. Skýring á þessum mun kom í ljós við nánari greiningu loftmyndanna sem leiddi í ljós að nokkrar myndanna voru teknar við óvenju háa vatnsstöðu. Útbreiðsla keilunnar hefur því verið tímabundið meiri en sést á myndum frá 1957 og 1980.

Flatarmál keilunnar yfir árabilið 1957 og fram til 2015 hefur vaxið úr 2,4 km² í 3,7 km².



Mynd 17. Breytingar á flatarmáli keilunnar í Flögulóni yfir árabilið 1945–2015 ásamt uppsafnaðri stærð jökulhlaupa. Vöxtur keilunnar er ólínulegur og hafa Skaftárhlaup og framhlaup Skaftárjökuls mikil áhrif. Tímasetningar framhlaupa í Skaftárjökli eru merktar á grafið.

Í framhaldinu var skoðað rennsli í vhm 70 sem er vatnshæðarmælir við Skaftárdal (sbr. Mynd 18 og staðsetning mælis á Mynd 5). Skaftá skipist raunar í tvennt neðan við mælinn þ.e. í Ása Eldvatn og Skaftá (Mynd 2) og því hugsanlegt að þróun á rennsli niður í Flögulón sé önnur en sá mælir sýnir. Vatnshæðarmælir hefur hins vegar ekki verið rekinn nógu lengi við Ása til að unnt væri að bera elstu loftmyndir saman við rennsli. Sérstaklega er líklegt að munur geti verið á rennslinu eftir 1960 og áratuginn þar á eftir þegar farið var að byggja vegi og garða á svæðinu sem m.a. veittu kvíslum sem áður féllu út á hraunið annars vegar í Ása-Eldvatn og hins vegar í Skaftá í átt að Kirkjubæjarklaustri (sjá umfjöllun kafla 5.2.2). Rennslisferillinn gefur hugmynd um hvort ársmeðalrennsli sé frábrugðið meðaltalinu. Mynd 18 sýnir mánaðarmeðalrennsli (blá lína) ásamt ársrennsli (appelsínugul lína). Gulu punktarnir tákna flatarmál keilu þegar loftmynd var tekin og rauðu hringirnir tákna rennsli sama dag. Sjá má að ársmeðalrennsli hefur áhrif á útbreiðslu keilunnar. Loftmyndin frá 1960 sýnir til dæmis meiri útbreiðslu en myndin tuttugu árum síðar en samt sem áður var ekki mikið rennsli í ánni daginn sem myndin var tekin. Ársmeðalrennsli þetta ár var hins vegar meira en öll hin árin og hefur það haft áhrif á vöxt keilunnar.



Mynd 18. Mánaðarmeðalrennsli (blá lína) ásamt ársrennsli (appelsínugul lína) með hlaupum. Gulir punktar tákna flatarmál keilu og rauðir hringir rennsli sama dag og loftmynd var tekin.

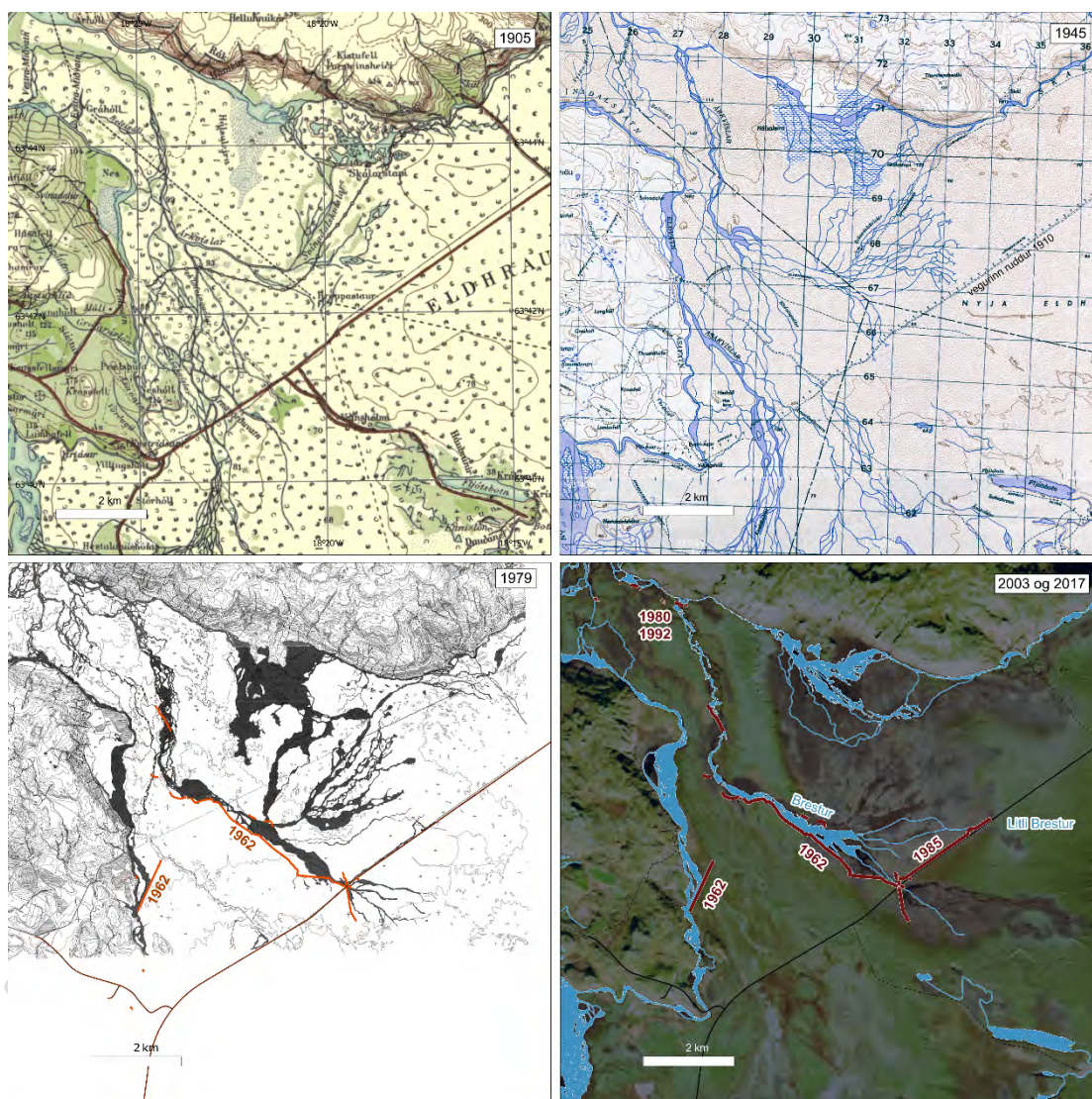
5.2.2 Þróun farvega í Eldhrauni

Þróun farvega í Eldhrauni tengist talsvert mikið mannvirkjagerð á svæðinu auk jökulhlaupanna. Byggðir hafa verið varnargarðar og vegir sem hafa áhrif á rennsli árinna. Tilgangurinn hefur ýmist verið að veita vatni frá stöðum og mannvirkjum eða veita vatni út á hraun til að auka grunnvatnsrennsli. Þessari sögu hefur verið gerð ítarleg skil af Snorra Zóphóníassyni (2015). Afskipti manna af rennsli Skaftár á Eldhraun hófust svo vitað sé snemma á síðustu öld. Þau hófust áður en byrjað var að mæla rennsli Skaftár, en fyrst var byrjað að lesa á vatnshæðarmælikvarða í Skaftárdal árið 1951. Nýr vegur var lagður yfir Eldhraun árið 1962 og ný brú yfir Eldvatn við Ása tekin í notkun árið 1965. Við þær framkvæmdir var lokað fyrir Ásakvíslar sem runnu úr Eldvatni út á hraunið (Mynd 19, neðri myndir).

Til að skoða þessa þróun voru bornir saman farvegir af elstu kortum sem til eru af svæðinu í ásættanlegum mælikvarða, svokölluðum Herforingjaráðskortum frá árinu 1905 (Mynd 19 efri t.v.). Síðan voru farvegir á AMS kortum bandaríska hersins skoðaðir og að lokum nýjasta útgáfa vatnagrunns Landmælinga Íslands ÍS50V 3.4 sem gerður er eftir gögnum frá árinu 2003 og byggja á SPOT 5 gervitunglamyndum.

Á kortinu frá 1945 (Mynd 19, efri t.h.) kemur glöggleg fram að eina svæðið á Eldhrauninu þar sem merkjanlegt jökulvatnaset (glacial outwash) er til staðar við Hálsleiru og að Skálarál. Sú staða er verulega breytt á myndinni frá 1979 (Mynd 19 neðri t.v.) og enn meira breytt á myndinni frá 2003–2017 (Mynd 19 neðri t.h.)

Einnig er áberandi þegar efri og neðri myndirnar (Mynd 19) eru bornar saman að Árkvíslarnar hafa hætt að renna út á hraunið vestan við Fljótsbotn (sem er stöðuvatnið neðst til hægri á myndunum). Farvegir hafa verið sameinaðir og því eru færri stórir farvegir í stað margra lítilla.



Mynd 19 Farvegir í Eldhrauni árin 1905 (efri t.v.), 1945 (efri t.h.), 1979 (neðri t.v.) og 2003 og 2017 neðri t.h.). Myndin frá 1905 er af Herföringjaráðskorti, 1945 myndin er samsett AMS kortblöð Bandaríkjahers, loftmyndir frá 1979 eru grunnurinn að Orkustofnunarkortum frá 1985 (kortblað 3235 Svínadalur og kortblað 3236 Skaftárdalur); 2003 eru útlínur úr kortagrunni LMÍ (ÍS50V 3.4), undir er Landsat 8 gervitunglamynd frá 1. nóv. 2017. Rauðar og appelsínugular línur á neðri myndum sýna varnarmannvirki. Betri upplausn af þessari mynd er í Viðauka VII.

Árkvísar runnu suður úr farvegi Skaftár neðan við rústir eyðibýlisins Á út á hraunið og niður undir brú sem er á þjóðveginum. Árið 1962 var byrjað að halda aftur af þeim svo vatnið rynni ekki yfir í Eldvatn. Aðstæður við núverandi útfall Árkvísla hafa verið mótaðar af mannavöldum a.m.k frá 1980 þar sem vatni var veitt út á hraunið í þeim tilgangi að auka rennsli í lindum í Meðallandi. Mynd 19 (neðri t.h.) sýnir helstu mannvirki og áhrif framburðar á Eldhraunið sem nær nú langt suður fyrir þjóðveg.

Garður sem fyrst sést á loftmyndum árið 1978 í Skálarál var gerður í þeim tilgangi að auka rennsli í Grenlæk og Tungulæk (Tafla 7; nánar í Snorri Zóphóníasson, 2015). Þessar aðgerðir

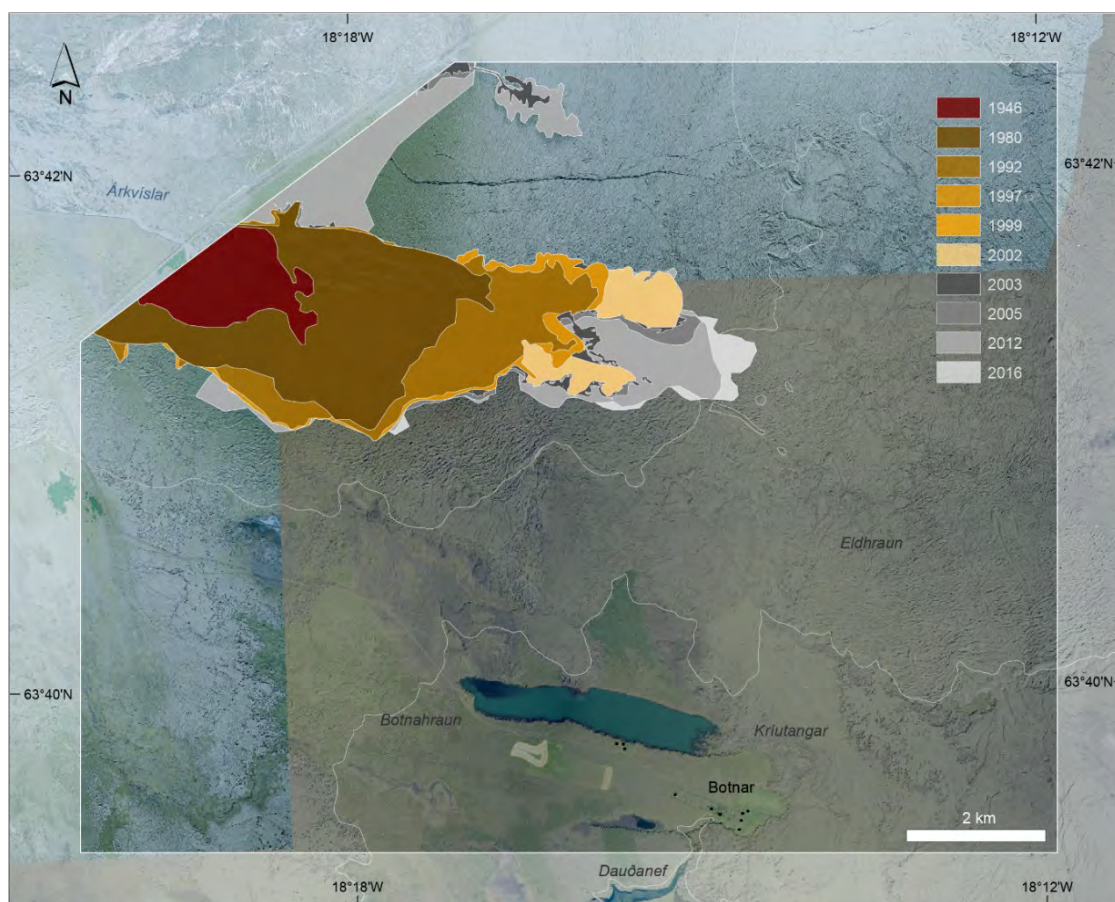
hafa stuðlað að því að gruggugt sumarvatn Skaftár hefur borist út á hraunið og fyllt sprungur og holrými þess. Hins vegar eru þær engan veginn eini áhrifavaldurinn. Flóðvatn sem berst út á hraunið í Skaftárhlaupum ber með sér mikinn aur og sama er að segja þegar gosefni t.d. frá Kötlu berast í Skaftá. Þar hefur vindborið efni einnig talsvert að segja. Í hlaupum 1997, 2000, 2008, 2010 og 2015 náði hlaupvatnið alla leið í Tungulæk á yfirborði. Garðurinn sem beinir Skálarál niður í Dyngjur var minnkaður eftir 1997.

Tafla 7. Tímasetningar á byggingu mannvirkja í Eldhrauni.

Tíma- setning	Mannvirki í Eldhrauni	Örnefni sést á mynd/korti
1910	Vegur ruddur í gegnum Eldhraun	Mynd 18 efri t.v.
1950	Skarð rofið með ýtu til þess að Skálaráll rynni í átt að Dyngjum	Mynd 20
1951	Fyrstu aðgerðir til þess að verja þjóveginn fyrir vatnságangi	Mynd 18 efri t.h.
1962	Stóri garðurinn sem veitir Ásakvíslum í Eldvatn	Mynd 18 efri t.h.
1962	Garðar úr sandi sem hindra að Árkvísar rynnu til vesturs í Eldvatn	Mynd 18 efri t.h.
1978	Garður sem kemur í veg fyrir að Skálaráll renni aftur út í Skaftá sést fyrst á loftmyndum (1978). Sést ekki 1957.	Mynd 20
1980	Bændur grafa skurð út úr Skaftá fyrir neðan eyðibýlið Á	Mynd 18 neðri t.v og h.
1985	Ýtt upp garði meðfram þjóvegi vegna mikillar vatnsveitu í Árkvísar	Mynd 18 neðri t.h.
1990	Aukið rennsli í Árkvísar kallar á styrkingu garðanna meðfram Bresti	Mynd 18 neðri t.h. og Mynd 19
25/05/1991	Stíflað fyrir kvíslar sunnan við Árhól, þær runnu áður í Eldvatn en fóru eftir stíflu austur í Skaftá. Þessar stíflur brustu í hlaupi 2015	Merkt 1992 á Mynd 18 neðri t.h.
1991	Þrengt að útfallinu sem bændur opnuðu 1980	Merkt 1992 á Mynd 18 neðri t.h.
1992–1997	Brestgarður byggður í október 1992, breytingar voru á fjölda röra og staðsetningu á tímabilinu	Mynd 18 neðri t.h.
19/06/1998	Brestsstífla fjarlægð	Merkt 1992 á Mynd 18 neðri t.h.
1999	Bætt við ræsi undir veginn í litla Brest	Mynd 18 neðri t.h.
21/11/2000	Brestsstífla byggð aftur með þremur röllum	Merkt 1992 á Mynd 18 neðri t.h.

5.2.3 Áhrif setframburðar á Eldhraun

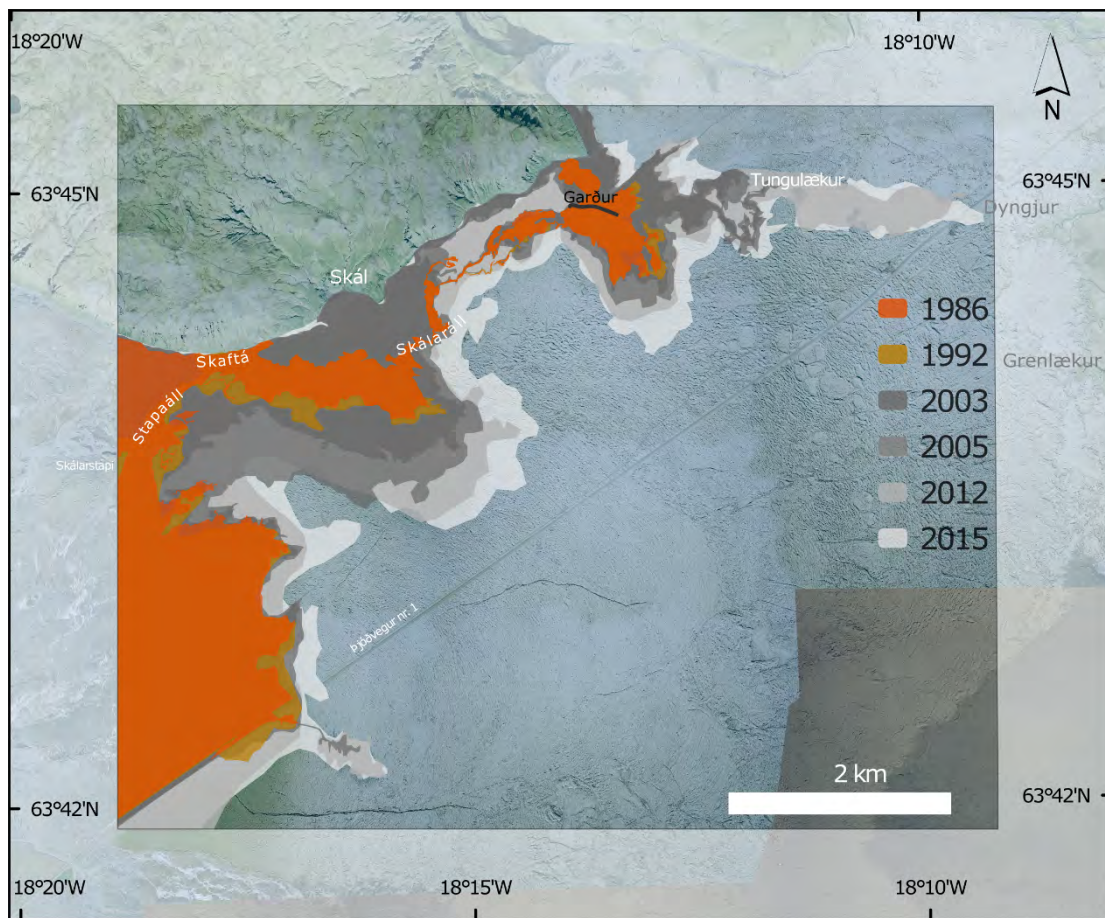
Stuttu eftir 1960 fóru að berast kvartanir um að dregið hefði úr lindarennslu í Landbroti og Meðallandi. Fram hafa farið umfangsmiklar rannsóknir á þessum þætti (Freysteinn Sigurðsson, 1997; Snorri Zóphóníasson, 1998; Snorri Zóphóníasson, 2015; Almenna Verkfræðistofan, 2002). Það er óumdeilt að hinn mikli framburður Skaftár hefur mjög mikil áhrif á þróun farveganna í Eldhrauni þar sem hann fyllir í gropin og sprungin hraunin og stíflar rennislíðið



Mynd 20. Framrás sets í yfirborði hrauns við Brest sunnan þjóðvegjar. Gögn frá Landgræðslu ríkisins og Verkís.

með tímanum. Jökulárnar bera ógrynni framburðar með sér á leið sinni til sjávar. Á stöðum þar sem dregur úr straumhraða setja árnar af sér set. Nái jökulár sem innihalda mikinn aur að renna fram á nútímahraun hripar vatnið niður og smám saman fyllir aurinn allar glufur hraunanna. Á endanum stíflast flestar rennslisleiðir. Jökulárnar einangra sig með þessum hætti frá undirliggjandi grunnvatnsgeymi. Glöggd dæmi um slíkt er hvernig dregið hefur úr leka úr Sigöldulóni undir stífluna þau 45 ár sem virkjunin hefur starfað (Davíð Egilson, 2016) en nefna mátti fjölmörg önnur sambærileg tilvik (Guðmundur Kjartansson, 1953; Haukur Tómasson o.fl., 1976; Guðmundur Kjartansson, 1961). Eldhraunið hefur þést verulega frá sjötta áratug síðustu aldar. Á Mynd 20 má sjá þróun í útbreiðslu sets út á Eldhraun. Það sækir stöðugt fram eftir því sem jökulvatnið þéttir farveginn. Frá árinu 1945 hefur setgeirinn sótt fram um 3 km út á Eldhraunið við Brest.

Unnt er að meta stærðargráðu þess aurs sem berst inn á svæðið við Brest þegar $10 \text{ m}^3/\text{s}$ er veitt út á hraunið af gruggugu sumarvatni. Samkvæmt mælingum á aurburðarsýnum er að minnsta kosti 1 gramm af svífaur í lítra yfir sumarmánuðina (Esther Hlíðar Jensen, 2011). Er þá ótalið botnaskrið. Með rennsli sem nemur $10 \text{ m}^3/\text{s}$ berast því að lágmarki 10 kg af efni á sekúndu. Það nemur 860 tonnum á dag sem jafngildir 22 ferðum 30 tonna vörubíla sem sturtuðu aurnum í hraunið. Á þremur sumarmánuðum yrðu þetta nálægt 2000 slíkum bílhlössum miðað við þessar



Mynd 21. Framrás aurs við Skálarál í átt að Tungulæk. Gögn unnin eftir Loftmyndum frá árunum 1986 og 1992, frá Verkís 2003, frá Landgræðslunni 2005 og 2012 og greiningu Landsat gervitunglamynda frá Ingibjörgu Jónsdóttur HÍ 2015.

forsendur. Á meðan rennsli um Brest var síritað á árunum 2003 til 2005 var rennslið á sumrin oft 12 til 15 m³/s. Rétt er að benda á að þessir magnreikningar eru lágmarksmat en gefa stærðargráðuna til kynna. Það er einkar mikilvægt að vanmeta ekki þessi áhrif enda mun aurburðurinn á endanum stífla írennslið varanlega.

Sömu þróun og er við Brest má sjá við Skálarál. Mynd 21 sýnir að setframburðurinn sækir fram og er farinn að nálgast upptakakvíslar Tungulækjar. Framrás setgeirans hefur verið um 3 km frá árinu 1986. Nýjasti flákin á Mynd 21 (ljósgrár 2015) er gerður með greiningu Landsat 8 mynda eins og greint var frá í kafla 2.

6 Samantekt

Sögulegt yfirlit rannsókna á svæðinu upp við jökul bendir almennt í sömu átt, þ.e. að aukning hafi orðið á setframboði á svæðinu. Greining á loftmyndum hefur einnig leitt í ljós að mikil umskipti verða um miðja 20. öld þegar sem jökulhlaup í núverandi mynd hefjast. Þessu fylgir að setframburður Skaftár hefur farið vaxandi frá 1945.

6.1 Setið sem fer af stað uppi við Jökul

Í Skaftárhlaupum berst fram gríðarlegt magn af aur sem upprunnið er að hluta til undan jökli en einnig rýfur hlaupið sandana framan við jökul á leið sinni eftir farveginum. Halli og lögun landsins hefur mest áhrif á það hvort framburðurinn nær að setjast til eða vatnsflaumurinn nái að rjúfa undirlagið. Efnið virðist að mestu setjast til í Fögrufjallakeilunni, síðan við Flögulón og loks við sjávarmál. Á árabílinu 1995–2015 hafa farið um 5,5 milljón tonn um mælistaðinn við Sveinstind.

6.2 Upphleðsluhraði aurkeila á hálendi og í byggð

Samanburður á landlíkönum frá 2003 og ArcticDEM sem byggir á loftmyndum frá 2013 bendir til þess að upphleðslan við Fögrufjöll hafi verið um 2,2–2,4 milljón tonna á ofangreindu árabíli. Setsöfnun í stöðuvatni sem skoðað var á loftmyndum bendir til um 7000 rúmmetra upphleðslu á 18 árum en þar safnast einnig finu efnin sem flytjast að mestu burt af keilunni sem svifaur. Setsöfnun í stöðuvatnið er því um 92 þúsund tonn á km² á ári en um 129 þúsund tonn á km² á ári á keilunni.

	Rúmþyngd kN/m ³ *	Þyngd efnis (tonn)** Allt tímabilið	Á ári	Flatarmál	Setsöfnun (þús. tonn á km ² /ár)
Stöðuvatn	18*	21 þús	0,7 þús.	7921 m ²	92
Keila	20*	25 milljón	2,1 milljón	16,5 km ²	129

* Óvissa í rúmþyngd

** Miðað við 2ja metra djúpt stöðuvatn

Uppbygging Fögrufjallakeilunnar rétt sunnan við jökulsporðinn hefur verið mishröð og virðast framhlaup jökulsins hafa þar talsverð áhrif og hraða vexti hennar í einhvern tíma eftir hvern atburð. Skaftárjökull hefur hlaupið fram tvisvar á tímabilinu sem var til rannsóknar og má sjá mikinn mun á stærð keilunnar stuttu eftir framhlaupin. Þetta efni situr allt saman á sínum stað og bíður þess að áin nái að flytja það niður farveginn. Því er óhætt að segja að mikið framboð sé af lausefnum í farvegi Skaftár. Á hálendinu er upphleðslan ekki línulegur vöxtur heldur fellur annars stigs margliða betur að mæligildum. Það bendir til þess að aukning sé á framboði efnis. Orsakir þessarar aukningar eru margvíslegar en aukning á rennsli og jökulhörfun sem afleiðing af veðurfarsbreytingum hefur þar mest áhrif. Þá er einnig mögulegt að breyting á jarðhitasvæðinu í Skaftárkötlum í tengslum við þynningu jökulsins hafi átt sér stað og hafi áhrif á hlaupin. Ein og sér ætti jökulþynningin að valda því að vatnsgeymirinn væri minni þegar hleypur úr honum. Það er vegna þess að hlaupin verða þá við lægri vatnsstöðu því vatnsborðið þarf ekki að rísa eins hátt og áður. Þetta veldur minni og tíðari hlaupum. Meira afl ætti hins vegar að valda

fleiri og hugsanlega stærri hlaupum og þar með auknum aurburði. Ekki eru sjáanlegar miklar breytingar á kötlunum á tímabilinu 1970–2010, í það minnsta er hún miklu minni en sú verulega stækkun sem varð á eystri Skaftárkatlinum milli 2010–2015. Breytingar á jarðhitasvæðinu og þróun Skaftárkatla eru til rannsóknar hjá Jarðvísindastofnun Háskólans (Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., í vinnslu).

Ekki var unnt að magntaka upphleðsluna við Flögulón en flatarmálsaukningin yfir tímabilið 1955–2015 hefur verið frá 2,4 km² og upp í 3,7 km². Það gildir sama um upphleðsluna við Flögulón eins og við Fögrufjöll að upphleðsluhraðinn er engan veginn samfeldur heldur koma hröð upphleðslutímabil í tengslum við framhlaup jökulsins og jökulhlaup, en hægfara upphleðsla og jafnvel roftímabil þar á milli.

6.3 Áhrif jökulframburðar á Eldhraun

Þær breytingar sem sjást í Eldhrauni eru flókið samspil náttúrulegra þátta svo sem Skaftáhlaupanna sem hófust í umtalsverðum mæli í kringum 1955, auknu rennsli Skaftár sem stafar af rýrnun Skaftárjökuls og Síðujökuls, loftslagsbreytinga almennt, þétting hraunsins vegna foks og ösku, og hins vegar mannlegra athafna við að breyta rennslisleiðum og veita grugguðu jökulvatni á hraunin. Stöðugt berst set fram í farvegi sem liggja út á Eldhraun. Hraunið er til þess að gera ungt og því gropið en sandurinn fyllir upp í holrýmið með tímanum. Þetta er sama þróun og varð í Landbrotshrauninu fyrir Skaftárelda og kemur fram í lýsingum Jóns Steingrímssonar og Sæmundar Hólm (Sæmundur Magnússon Hólm, 1874; Jón Steingrímsson, 1973).

Frá árinu 1980, þegar skarð var gert út úr farvegi Skaftár til að auka rennsli í Brest, hefur sandur í farveginum náð stöðugt lengra út á hraunið þrátt fyrir stíflu sem byggð var 1992. Þessi framrás mælist rúmir þrír km mælt frá Þjóðveginum frá árinu 1946 til ársins 2015. Skurður var grafinn árið 1950 til að auka vatn í Skálarál (sjá Mynd 20). Sandur í farvegi Skálaráls hefur því verið að aukast að sama skapi frá því að garður var byggður sem kom í veg fyrir að Skálaráll rynni aftur út í Skaftá. Garðurinn sést fyrst á loftmyndum 1978. Frá árinu 1997 hefur hlaupvatn komist alla leið niður í Tungulæk. Garðurinn var minnkaður í næsta hlaupi en það hefur ekki borið tilætlaðan árangur, sem var að auka rennsli grunnvatns út í Tungulæk. Framrás sets í Skálarál í átt að Tungulæk hefur verið um 3 km frá árinu 1986.

Virkni Skaftárkatla jókst verulega eftir 2010 með stækkun eystri Skaftárketilsins (Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., í vinnslu). Áhrif þeirra breytinga eiga væntanlega enn eftir að skila sér niður í Eldhraun.

7 Ábendingar

Hvert stefnir? Hlaup í Skaftá voru þekkt fyrir 1955 samkvæmt Gísla Sigurðssyni, bónda á Búlandi í Skaftártungu (Helgi Björnsson, 1977). Jafnvel enn eldri heimildir eru fyrir hlaupum í Skaftá sbr. tilvitnun úr Eldritinu í kafla 2 (Jón Steingrímsson, 1973). Gamla Herforingjaráðskortið frá 1905 og AMS kortið sem byggt er á loftmyndum frá 1945–1946 sýna að aursöfnum í Eldhrauni var þá umtalsvert minni og aðeins fyrir ofan núverandi Þjóðveg 1 um miðja 20. öld (Mynd 19). Vitað er að eðli Skaftárhlaupa breyttist talsvert um 1955 þegar þau tóku á sig þá mynd sem þau hafa í dag. Hér áður fyrr var talið líklegt að fyrir 1955 hafi Skaftárhlaup borist í Langsjó sem hafi miðlað rennslinu, dregið úr toppunum og grófasti hluti framburðarins hafi

fallið niður. Ólíklegt er að hlaupin hafi verið af sömu stærð og síðustu áratugi því ef Langisjór hefði miðlað rennslinu hefðu þau ekki verið jafn kvik og fram kemur í lýsingu Helga Björnssonar sem vísað er til í kafla 2. Á loftmyndum frá 1946 og 1960 má vel sjá aurkeilu sem orðið hefur til í hlaupi eftir að jökull tók að hörfa (Mynd 5 og Mynd 9). Hún er einnig vel sýnileg á AMS korti frá 1950 sem er að hluta til er byggt á skámyndum frá 1938 og loftmyndum frá 1945–1946. Það bendir til þess að Skaftárhlaup hafi hafist fyrir 1938 þrátt fyrir að þeirra hafi ekki orðið vart í sama mæli og síðar varð.

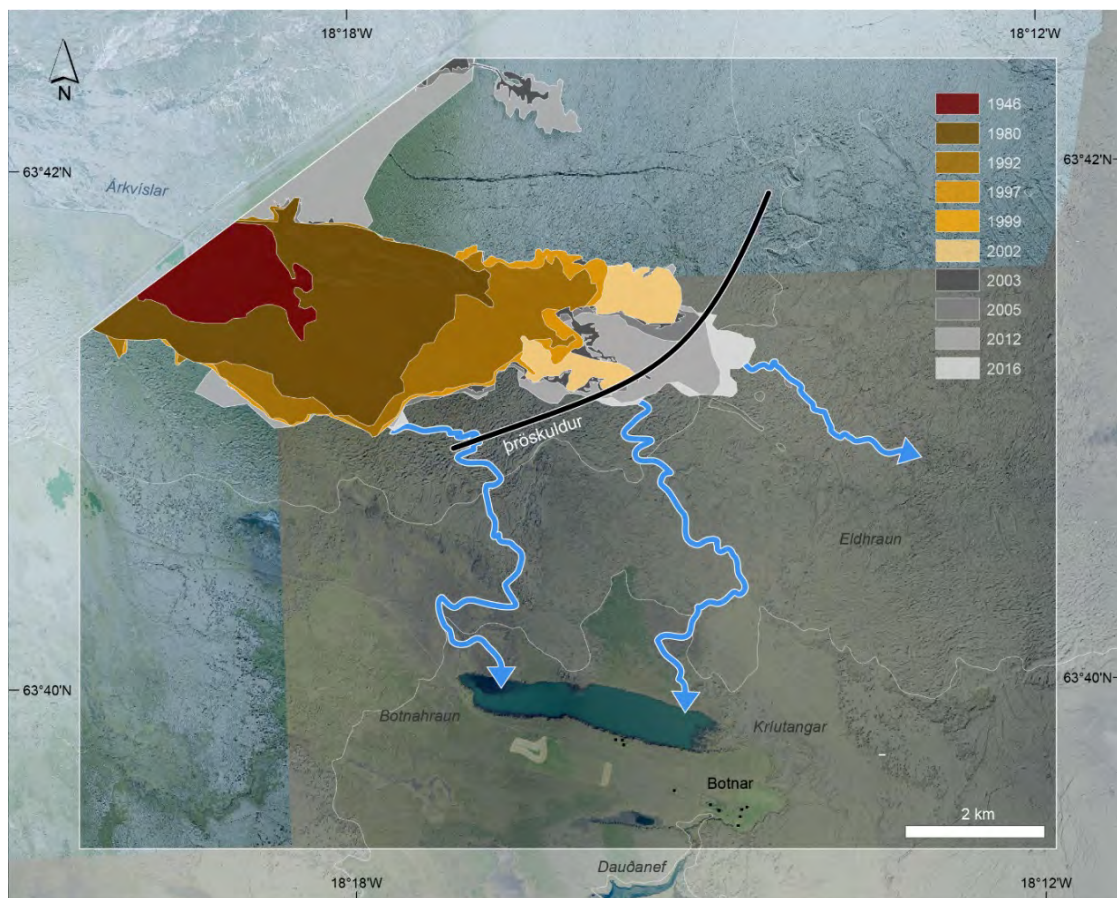
Rannsóknir á þróun Skaftárkatla á síðustu 80 árum hafa leitt í ljós að Vestari ketillinn var ekki til 1945–1946 og rúmtak eystri ketilsins var á þessum tíma minna en um 1960. Þessar niðurstöður sýna að umtalsverð breyting hafi orðið í virkni katlanna og þeir vaxið á árabilinu 1938–1960 (Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., í vinnslu).

Þá er rétt að skoða hvaða rými Langisjór hafi til að taka við hlaupum að þeirri stærðargráðu sem verið hefur undanfarin 50 ár. Árlegur meðalsvifursframburður Skaftár frá 1952 og fram að 1995 er 5,5 milljón tonn. Sé gert ráð fyrir því að 90% hafi sest til í Langsjó myndu árlega berast um 3 Gl af efni í Langasjó. Rúmmál Langsjávar nokkuð suður fyrir Útfallið er um 41 Gl eins og það mældist við kortlagningu árið 2003. Miðað við það tæki um 14 ár að fylla það rými með meðal-svifursframburði og þá eru hlaup undanskilin. Hlaupið í júlí 1995 er talið hafa borið fram um 6,6 milljón tonn og hlaupið haustið 2015 enn meira, en nánar er fjallað um það í skýrslunni um *Set í hlaupi haustið 2015* (Esther Hlíðar Jensen o.fl., í vinnslu). Það segir okkur að ekki þarf mörg hlaup til að fylla upp í Langasjó þannig að vatn tæki að renna úr honum um Útfallið.

Skúli Víkingsson (Elsa G. Vilmundardóttir o.fl., 1999) benti á að setið í botni Langasjávar geymi að öllum líkindum merka rannsóknarsögu sem hægt væri að lesa í með borunum og hugsanlega væri unnt að fá upplýsingar um það hvort og hve lengi Skaftárhlaup hafi fallið inn í Langasjó. Í aprílmánuði árið 2002 var reynt að bora kjarnaholur í botn Langasjávar en því miður náðist ekki að bora nema eina holu. Í efsta hluta kjarnans niður á 130 cm er fínsöndugt silt. Þar fyrir neðan er öskulag sem hefur efnasamsetningu sem líkist því sem er að finna í Lakagígum/Grímsvötnum (Jórunn Harðardóttir, í handriti). Grófsand sem ætti að vera einkenni jökulhlaupa er ekki að finna fyrr en á 150 cm dýpi neðan öskulagsins. Sakir þess að aðeins er um eina borholu að ræða er varhugavert að draga of víðtækar ályktanir og mikilsvert að ljúka þeirri sýnatöku sem lagt var upp með 2002 svo unnt sé að fá heildstæða mynd af gossögunni.

Rétt er þó að fram komi að þau gögn sem eru þegar fyrir hendi benda fremur til þess að virkni Skaftárkatla hafi ekki verið stöðug um aldir heldur er líklegra að breyting hafi orðið til aukningar um miðja 20. öldina.

Það er líklegasta þróun mála að set muni halda áfram að berast út á Eldhraunið og jafnvel í auknum mæli ef miðað er við ofangreindar upplýsingar. Farvegir munu færast til þegar þeir hafa byggt nægilega undir sig og þá er líklegt að þeir fylgi yfirborði Eldhrauns. Það mun hafa áhrif á grunnvatnsstrauma. Erfitt er að spá fyrir um þær breytingar með einhverri nákvæmni (Mynd 22).



Mynd 22. Framtíðarþróun á rennsli við Brest.

8 Þakkir

Vinnan er hluti af verkefninu um hættumat varðandi jökulhlaup í Skaftá sem styrkt er af Ofanflóðasjóði. Landgræðsla ríkisins fær þakkir fyrir veitt gögn og aðstoð við uppréttingu loftmynda. ArcticDEM yfirborðslíkan sem notað var í reikningunum er byggt á gervitungla-myndum frá *DigitalGlobe, Inc.* og fjármagnað af styrkjum nr. 1043681, 1559691, og 1542736 frá National Science Foundation í Bandaríkjunum og færum við þeim þakkir fyrir afnot af myndumog landlíkani. Landsvirkjun fær þakkir fyrir afnot af landlíkani og aurburðargögnum. Magnús Tumi Guðmundsson og Sigmundur Einarsson fá þakkir fyrir yfirlestur og ábendingar. Arnór Tumi Jóhannsson fær þakkir fyrir að fljúga með einn höfundanna yfir svæðið.

9 Heimildir

- Almenna verkfræðistofan (2002). Skaftárveita til Tungnaár. Tilhögun og umhverfi. LV-2002/032. Reykjavík: Landsvirkjun.
- Auður Atladóttir (2013). Handbók um Skaftárhlaup: Viðbragðsáætlun. VÍ 2013-003. Reykjavík: Veðurstofa Íslands
- Ágúst Böðvarsson (1996). Landmælingar og kortagerð Dana á Íslandi, upphaf Landmælinga Íslands. Reykjavík: Landmælingar Íslands.
- Bergur Einarsson (2009). Jökulhlaups in Skaftá: A study of a jökulhlaup from the Western Skaftá cauldron in the Vatnajökull ice cap, Iceland. M.S. ritgerð.
- Bhuyian, Md. N. M., Alfred J. Kalyanapu & Fernando Nardi (2015). Approach to Digital Elevation Model Correction by Improving Channel Conveyance. Journal of Hydrologic Engineering, 20, 5.
- Carlisle, B. H. (2005). Modelling the spatial distribution of DEM error. Transactions in GIS, 9, 521-540.
- Davíð Egilsson (2016). Greining á grunnvatnsmælingum á Þjórsár- og Tungnaárvæði 2015. LV-2016-038. Reykjavík: Landsvirkjun.
- Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Gústav Ásbjörnsson & Sveinn Runólfsson (2008). Yfirlit yfir sandsvæði og landbrot við Skaftá. Gunnarsholt: Landgræðsla ríkisins.
- Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Garðar Þorfinnsson, Guðný H. Indriðadóttir & Gústav M. Ásbjörnsson (2012). Eldhraun á Út-Síðu í Vestur Skaftafellssýslu. Úttekt á gróðurfari og jarðvegsrofi.
- Elsa G. Vilmundardóttir, Skúli Víkingsson & Snorri P. Snorrason (1999). Skaftárveita. Berggrunnur – Jarðgrunnur. Reykjavík.
- Emmanuel Pagneux, Bogi B. Björnsson & Davíð Egilson (2017). Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá; Útbreiðsla og flóðhæð Skaftárhlaupsins haustið 2015. Reykjavík: Veðurstofa Íslands
- Esther Hlíðar Jensen, Jórunn Harðardóttir, Svava Björk Þorláksdóttir & Snorri Zóphóníasson (2011). Heildarframburður Skaftár við Sveinstind árin 2001–2008. LV-2011/088. Reykjavík: Landsvirkjun.
- Esther Hlíðar Jensen, Davíð Egilsson, Emmanuel Pagneux, Bogi B. Björnsson, Snorri Zóphóníasson, Ingibjörg Jónsdóttir, Matthías Á. Jónsson, Ragnar H. Þrastarson og Matthew J. Roberts (í vinnslu). Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá; Set í hlaupi haustið 2015. Veðurstofa Íslands.
- Fanney Gísladóttir (1997). Veiting Jökulvatns á Eldhraun, saga aðgerða og afleiðingar. Gunnarsholt: Landgræðsla ríkisins.
- Finnur Pálsson, Eyjólfur Magnússon og Helgi Björnsson (2016). Greinargerð um könnun á legu vatnaskila Skaftár og Hverfisfljóts og stöðugleika þeirra þegar jökullinn hörfar. Greinargerð: RH-06-2016. Háskóli Íslands. Jarðvísindastofnun, 20 bls.
- Freysteinn Sigurðsson (1997). Lindir í Landbroti og Meðallandi. Uppruni lindarvatnsins. Reykjavík: Orkustofnun, OS-97021.
- Guðmundur Kjartansson (1953). Úr sögu Helliskvíslar. Náttúrufræðingurinn, 23(1), 1–13.
- Guðmundur Kjartansson (1961). Tungnaá Skýrsla um jarðfræðirannsóknir á hugsanlegum virkjunarstöðum. Reykjavík.

- Guðrún Larsen, Magnús T. Guðmundsson & Olgeir Sigmarsson (2013). KATLA. Í: Júlíus Sólness, Freysteinn Sigmundsson & Bjarni Bessason (ritstj.): Náttúruvá á Íslandi - Eldgos og jarðskjálftar, 211-233. Viðlagatrygging Íslands/Háskólaútgáfan, Reykjavík.
- Gústav M. Ásbjörnsson og Elín Fjóra Þórarinsdóttir (2016). Úttekt á jarðvegsrofi, aðgerðir Landgræðslunnar 2016 vegna afleiðinga Skaftárhlaupa og framkvæmdaáætlun fyrir árið 2017. LR-2016/13. Landgræðsla ríkisins.
- Haukur Jóhannesson, Kristján Sæmundsson, Snorri P Snorrason og Elsa Vilmundardóttir (2003). Virkjun Hólmsár og Skaftár: jarðfræði Skaftártungu. Reykjavík: Landsvirkjun, Íslenskar orkurannsóknir og RARIK. LV-2003/103, ÍSOR-2003/001, RARIK-03008.
- Haukur Tómasson, Helgi Gunnarsson & Páll Ingólfsson (1976). Langölduveita. Rannsókn á tilraunalóni við Tungnaá. Reykjavík. Sótt frá: <http://www.os.is/gogn/Skyrslur/1976/OSROD-7642.pdf>
- Helgi Björnsson (1977). The cause of Jökulhlaups in the Skaftá river. Jökull, 27, 71–78.
- Ingibjörg Kaldal (2002). Skaftá - Athugun á áfoki Útbreiðsla Skaftárhlaupsins 1995. Reykjavík. ÍST 15 (2002). Grundun. Reykjavík: Iðntæknistofnun Íslands.
- Jón Jónsson (1970). Á slóðum Skaftár og Hverfisfljóts. Náttúrufræðingurinn, 39, 180–209.
- Jón Steingrímsson (1973). Æfisagan og önnur rit. Reykjavík 1973.
- Jórunn Harðardóttir. Í vinnslu
- Jórunn Harðardóttir & Svava Björk Þorláksdóttir (2003). Niðurstöður aurburðamælinga í Skaftá árið 2002. Reykjavík.
- Jórunn Harðardóttir, Árni Snorrason, Snorri Zóphóniasson & Svanur Pálsson (2004a). Sediment discharge in jökulhlaups in the Skaftá river, Iceland. First ESF Sediflux workshop. Sauðárkrúkur 18.–24. júní 2004.
- Jórunn Harðardóttir, Svava Björk Þorláksdóttir & Bjarni Kristinsson (2004b). Niðurstöður aurburðarmælinga í Skaftá árið 2003. Reykjavík.
- Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir, Eyjólfur Magnússon og Finnur Pálsson (2018). Hættumat vegna jökulhaupa í Skaftá: Þróun Skaftárkatla 1938-2015. Raunvísindastofnun Háskólans, í vinnslu.
- Pakoksung, K., Takagi, M. (2016). Digital elevation models on accuracy validation and bias correction in vertical. Model. Earth Syst. Environ, 2:11. DOI 10.1007/s40808-015-0069-3
- Páll Jónsson (1993). Stór Skaftárhlaup 1970–1991. Reykjavík.
- Polar Geospatial Center (2016). ArcticDEM Documentation and User Guidance. Saint Paul, Minnesota: Polar Geospatial Center, University of Minnesota.
- Ríkey Hlín Sævarsdóttir (2002a). Sprungulekt af Skaftárvæðinu. Reykjavík: Orkustofnun Vatnamælingar. OS-2002/039.
- Ríkey Hlín Sævarsdóttir (2002b). Berglektarkort af Skaftárvæðinu. Reykjavík: Orkustofnun, Vatnamælingar, OS-2002/035.
- Sigurður Þórarinsson & Sigurjón Rist (1955). Skaftárhlaup í september 1955. Jökull, 5, 37–40.
- Snorri P. Snorrason/Almenna verkfræðistofan og Freysteinn Sigurðsson/Orkustofnun (2002). Skaftárveita grunnvatnsrannsóknir fram til 2001. LV-2002/056.

- Snorri Zóphóníasson (2002). Rennsli í Skaftárhlaupum 1955–2002. Reykjavík: Orkustofnun, Greinargerð, SZ-2002/01.
- Snorri Zóphóníasson (2015). Vatnafar í Eldhrauni Náttúrulegar breytingar og áhrif veitumannvirkja. Skýrsla VÍ 2015-003. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Snorri Zóphóníasson (1998). Vatnsbúskapur í Eldhrauni 1998. Reykjavík: Orkustofnun, Greinargerð, SZ-98/01.
- Snorri Zóphóníasson & Svanur Pálsson (1996). Rennsli í Skaftárhlaupum og aur- og efnastyrkur í hlaupum 1994, 1995 og 1996. OS-96066/VOD-07. Reykjavík: Orkustofnun.
- Staines, Kate E.H. et al (2015). A multi-dimensional analysis of proglacial landscape change at Sólheimajökull, southern Iceland. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40, 6, 809–822. DOI: 10.1002/esp.3662
- Svanur Pálsson & Snorri Zóphóníasson (1992). Skaftárhlaupið 1991 Sérkenni í aur- og efnastyrk. OS-92014/VOD-02. Reykjavík: Orkustofnun.
- Svanur Pálsson, Guðmundur H. Vigfússon og Jórunn Harðardóttir (2001). Framburður svifaurs í Skaftá. Reykjavík: Orkustofnun, OS-2001/068.
- Sveinn Pálsson (1983). Ferðabók Sveins Pálssonar : dagbækur og ritgerðir 1791–1797. Reykjavík : Örn og Örlygur, 2. útg. 1983. Sæmundur Magnússon Hólm (1784). Om jordbranden paa Island í aaret 1783. Kaupmannahöfn.
- Verkfræðistofan Vatnaskil (2005). Skaftá – Hverfisfljót: rennislíkan. Reykjavík: Landsvirkjun, LV2005/051.
- Wheaton, J. M., Brasington, J., Darby, S. E. & Sear, D. A. (2010). Accounting for uncertainty in DEMs from repeat topographic surveys: improved sediment budgets. *Earth Surf. Process. Landforms*, 35, 136–156. doi:10.1002/esp.1886
- Wheaton, J. M. (2017). Geomorphic Change Detection software. <http://gcd.joewheaton.org/>

Viðaukar

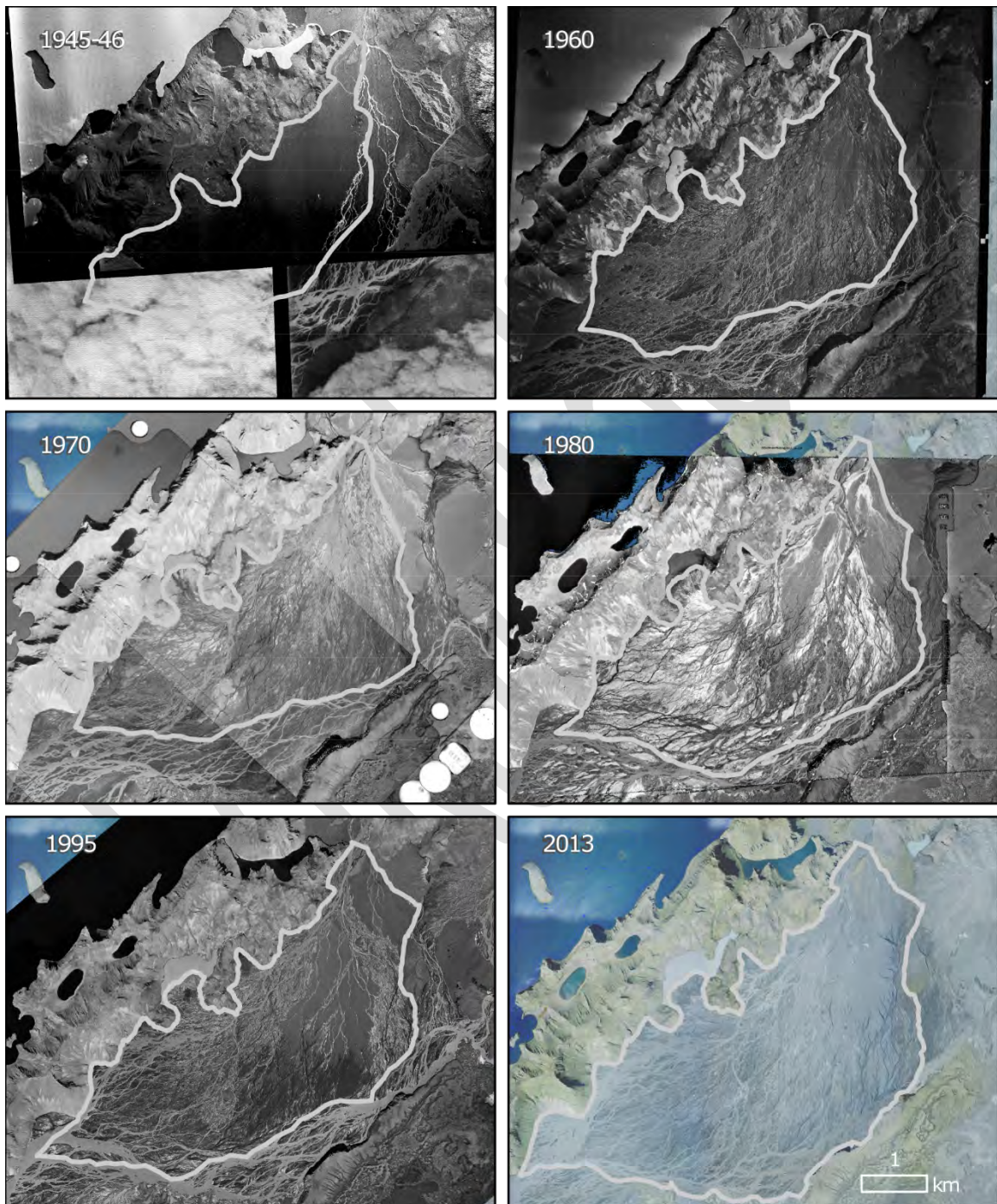
I Kort Sæmundar Magnússonar Hólm frá árinu 1784

II Reiknaður framburður Skaftár á árabílinu 1986– 2016

Ár	Meðalrennsli við Sveinstind		Sveinstindur			Skaftárdalur
	Hlaup meðtalin	Hlaupum sleppt	Svifaur	Skriðaur	Heildarframburður	Svifaur
	m ³ /s	m ³ /s	millj. tonn/ár	millj. tonn/ár	millj. tonn/ár	millj. tonn/ár
1986*	59	39	0,45	0,08	0,5	2,3
1987	42	42	2,11	0,24	2,4	2,0
1988	44	41	2,42	0,23	2,7	2,1
1989	60	52	4,24	0,29	4,5	3,0
1990	43	40	2,56	0,23	2,8	2,2
1991	51	43	3,38	0,24	3,6	2,3
1992	42	40	1,98	0,23	2,2	2,7
1993	38	38	1,58	0,22	1,8	2,4
1994	42	38	2,05	0,21	2,3	2,2
1995	55	45	4,45	0,25	4,7	4,0
1996	55	50	4,73	0,28	5,0	4,8
1997	64	58	6,45	0,32	6,8	5,7
1998	55	56	5,53	0,31	5,8	5,9
1999	43	43	2,93	0,24	3,2	3,6
2000	56	43	3,64	0,24	3,9	4,6
2001	48	48	3,62	0,27	3,9	5,2
2002	75	66	6,35	0,36	6,7	9,7
2003	79	73	8,20	0,40	8,6	10,5
2004	64	64	5,95	0,36	6,3	7,7
2005	59	54	4,99	0,30	5,3	4,3
2006	65	56	4,44	0,31	4,8	5,5
2007	56	56	4,00	0,31	4,3	4,9
2008	67	56	4,38	0,31	4,7	5,9
2009	47	47	3,43	0,26	3,7	4,8
2010	93	79	13,33	0,43	13,8	9,9
2011	75	71	7,51	0,39	7,9	7,1
2012	52	50	3,98	0,28	4,3	3,4
2013	39	39	2,59	0,22	2,8	4,5
2014	67	63	5,76	0,35	6,1	5,3
2015	66	55	4,62	0,31	4,9	4,2
2016	58	53	3,27	0,22	3,5	
Framburður á ári fyrir 1995			2,8	0,2	3,0	4,5
Hlutfall af heildarframburði			92%	8%	100%	
Framburður á ári eftir 1995			5,2	0,3	5,5	6,2
Hlutfall af heildarframburði			94%	6%	100%	

*Mælingar við Sveinstind hófust í ágúst 1986, gráskyggðu svæðin tákna gildistíma lykla, sjá umfjöllun framar

III Myndaröð af Fögrufjallakeilu



IV Ljósmyndir af stöðuvatni



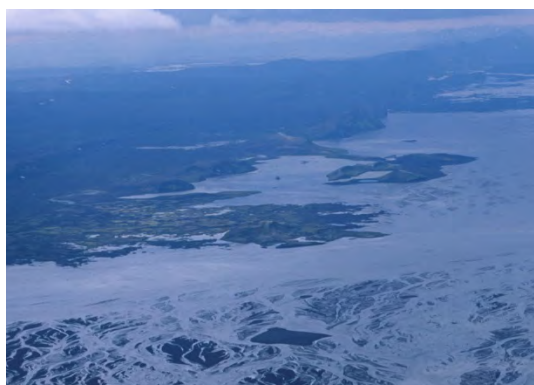
1989



2000



2002



1995



2015 vatn er farið að renna úr „innfallinu“ sunnanmegin.

V Leiðrétting LV2003 líkans

Svæðisbundin greining mismunarasta

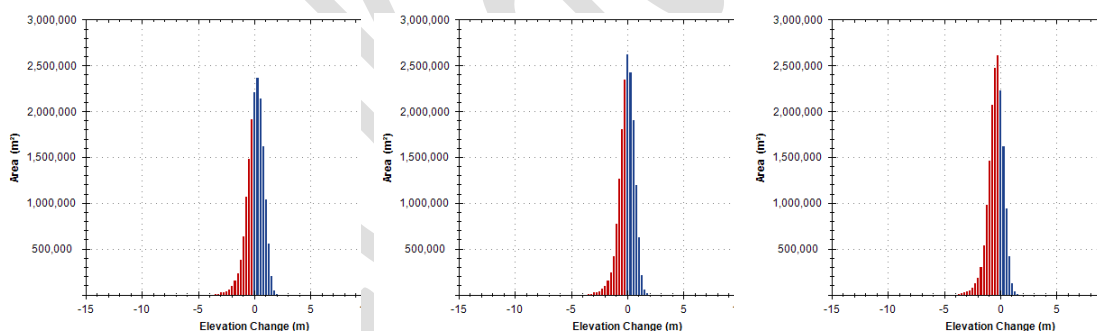
Útbúin voru 87 misstór hringlaga svæði sem skipt var upp í fjóra hópa sem féllu nokkurn veginn við horn aurkeiluna að suðvestan, suðaustan, norðvestan og norðaustan.

Svæðisbundin tölfræðigreining var framkvæmd í ArcGIS á mismunarasta líkananna þar sem fyrir hvert svæði var reiknaður meðaltalsmismunur, staðalfrávik og fjöldi myndeininga í hverju svæði. Þar sem staðalfrávik var í sumum tilfellum nokkuð hátt var ákveðið velja 4 m stuðpúða (e. buffer) út frá miðpunkti hvers svæðis. Þetta var gert til að draga úr skekkju sem verður vegna ólíkra aðferða við gerð líkananna og þar með ólíkri túlkun þeirra á yfirborðinu. Þetta skapast m.a. af ólíku sjónarhorni myndavélanna sem notaðar voru.

Loks var reiknað meðaltal fyrir öll svæðin sem reyndist vera 0,506 m og er það hæðin sem þarf að hliðra Landsvirkjunarlíkaninu um svo það falli að ArcticDEM.

Nánari greining byggð á hópum

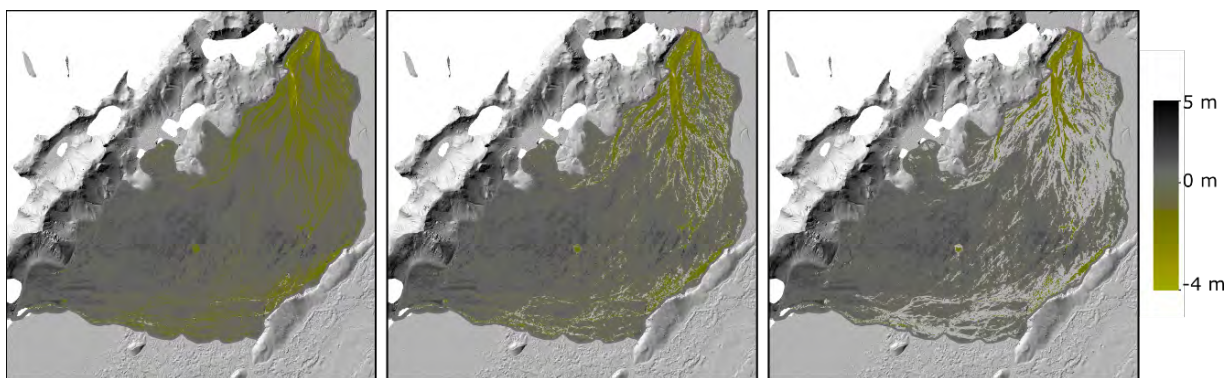
Niðurstöður svæðisbundinnar greiningar gefa til kynna að kerfisbundin hæðarmismunur sé milli líkananna tveggja. Til að skoða málið nánar var meðaltalsmismunur hvers hóps reiknaður, það meðaltal dregið frá heildarmeðaltali allra svæða, og sú niðurstaða færð á punkt sem er landfræðileg miðja hvers hóps. Loks var fyrstu stigs línulegri brúun beitt til að útbúa hallandi flöt í gegnum þessa fjóra punkta. Niðurstaðan gefur til kynna að það sé kerfisbundinn norðaustur-suðvestur halli í gegnum allt svæðið.



MeanTrend leiðrétting	0,506 m leiðrétting	0,860 m leiðrétting
Samanlag rúmmál sets (m³)		
6.384.499,01	4.659.836,25	2.075.724,47
Samanlagt rúmmál sets og rofs (m³)		
10.246.071,01	8.971.694,76	9.661.947,67

VI Mismunagreining á keilu

Rúmmálsbreytingar á Fögrufjallakeilunni má sjá á Mynd 23. Reiknuð voru þrjú mismunalíkön. Það fyrsta var munur á rúmmáli með öllum gildum, annað var 20 cm ónákvæmni í hæð og þriðja með 50 cm ónákvæmni. Líkan 1 inniheldur öll gildi beggja líkananna. Líkan 2 inniheldur einungis þau gildi þar sem mismunur milli líkanna er meiri en 20 cm í báðar áttir þ.e. hvort sem um rof eða set er að ræða. Líkan 3 er þar sem mismunur milli líkanna er meiri en 50 cm í báðar áttir. Þessar tölur (20 og 50 cm óvissa) voru valdar með hliðsjón af niðurstöðum úr greiningu á nákvæmni landlíkananna (sjá nánar Viðauki VI og Emmanuel Pagneux o.fl., í vinnslu). Niðurstöður útreikninganna koma fram sem mismunur í fleti, hæð, rúmmáli o.fl.



Mynd 23. Þrjú mismunalíkön gerð með GCD viðbótinni.

Greining miðaða við fulla nákvæmni				
Nafn rasta: ademmmkeilafill_lvkeilafill MinLoD 0.00				
Attribute	Raw	Thresholded	± Error Volume	% Error
AREAL:				
Total Area of Erosion (m²)	2,208,22 4.00	2,208,22 4.00		
Total Area of Deposition (m²)	14,17,56 .0	14,17,56 .0		
Total Area of Detectable Change (m²)	NA	16,25,80 .0		
Total Area of Interest (m²)	16,25,80 .0	NA		
Percent of Area of Interest with Detectable Change	NA	100.00 %		
VOLUMETRIC:				
Total Volume of Erosion (m³)	1,36,74. 7	1,36,74. 7	± 0	0
Total Volume of Deposition (m³)	12,78,15 .2	12,78,15 .2	± 0	0
Total Volume of Difference (m³)	13,15,89 .9	13,15,89 .9	± 0	0
Total Net Volume Difference (m³)	11,42,41 .6	11,42,41 .6	± 0	0
VERTICAL AVERAGES:				
Average Depth of Erosion (m)	0.6	0.6	± 0	0
Average Depth of Deposition (m)	0.9	0.9	± 0	0
Average Total Thickness of Difference (m) for Area of Interest	0.4	0.4	± 0	0
Average Net Thickness of Difference (m) for Area of Interest	0.9	0.9	± 0	0
Average Total Thickness of Difference (m) for Area with Detectable Change	NA	0.4	± 0	0
Average Net Thickness of Difference (m) for Area with Detectable Change	NA	0.9	± 0	0
PERCENTAGES (BY VOLUME):				
Percent Erosion	8.9	8.9		
Percent Deposition	91.1	91.1		
Percent Imbalance (departure from equilibrium)	41.1	41.1		
Net to Total Volume Ratio	82.3	82.3		

Greining miðað við 20 cm ónákvæmni				
Nafn rasta: ademmkkeilafill_lvkeilafill MinLoD 0.0				
Attribute	Raw	Thresholded	± Error Volume	% Error
AREAL:				
Total Area of Erosion (m ²)	2,08,24.0	1,76,08.0		
Total Area of Deposition (m ²)	14,17,56.0	13,51,04.0		
Total Area of Detectable Change (m ²)	NA	14,27,12.0		
Total Area of Interest (m ²)	16,25,80.0	NA		
Percent of Area of Interest with Detectable Change	NA	89.2%		
VOLUMETRIC:				
Total Volume of Erosion (m ³)	1,36,74.7	1,67,48.9	± 295,21.0	25.8
Total Volume of Deposition (m ³)	12,78,15.2	12,65,64.5	± 2,50,20.0	21,
Total Volume of Difference (m ³)	13.915.489,	13,33,13.4	± 2,45,42.0	21.5
Total Net Volume Difference (m ³)	11,42,41.6	11,97,16.6	± 2,66,12.1	23.
VERTICAL AVERAGES:				
Average Depth of Erosion (m)	0.6	0.9	± 0.	25.8
Average Depth of Deposition (m)	0.9	0.5	± 0.	21.9
Average Total Thickness of Difference (m) for Area of Interest	0.4	0.3	± 0.8	21.5
Average Net Thickness of Difference (m) for Area of Interest	0.9	0.9	± 0.6	23.
Average Total Thickness of Difference (m) for Area with Detectable Change	NA	0.3	± 0.	21.5
Average Net Thickness of Difference (m) for Area with Detectable Change	NA	0.7	± 0.8	23.
PERCENTAGES (BY VOLUME):				
Percent Erosion	8.9	8.		
Percent Deposition	91.1	91.		
Percent Imbalance (departure from equilibrium)	41.1	41.		
Net to Total Volume Ratio	82.3	82.9		

Greining miðað við 50 cm ónákvæmni				
Nafn rasta: ademmkeilafill_lvkeilafill MinLoD 0.0				
Attribute	Raw	Thresholded	± Error Volume	% Error
AREAL:				
Total Area of Erosion (m ²)	2,08,24.0	825,00.0		
Total Area of Deposition (m ²)	14,17,56.0	10,86,40.0		
Total Area of Detectable Change (m ²)	NA	11,11,40.0		
Total Area of Interest (m ²)	16,25,80.0	NA		
Percent of Area of Interest with Detectable Change	NA	71.7%		
VOLUMETRIC:				
Total Volume of Erosion (m ³)	1,36,74.7	950,61.8	± 412,00.0	43.
Total Volume of Deposition (m ³)	12,78,15.2	11,55,03.7	± 5,93,20.0	46.3
Total Volume of Difference (m ³)	13,15,89.9	12,05,64.4	± 5,05,20.0	46.8
Total Net Volume Difference (m ³)	11,42,41.6	10,04,42.9	± 5,08,86.7	50.8
VERTICAL AVERAGES:				
Average Depth of Erosion (m)	0.6	1.5	± 0.	43.
Average Depth of Deposition (m)	0.9	1.7	± 0.	46.3
Average Total Thickness of Difference (m) for Area of Interest	0.4	0.7	± 0.6	46.8
Average Net Thickness of Difference (m) for Area of Interest	0.9	0.5	± 0.3	50.8
Average Total Thickness of Difference (m) for Area with Detectable Change	NA	1.8	± 0.	46.8
Average Net Thickness of Difference (m) for Area with Detectable Change	NA	0.1	± 0.7	50.8
PERCENTAGES (BY VOLUME):				
Percent Erosion	8.9	7.8		
Percent Deposition	91.1	92.2		
Percent Imbalance (departure from equilibrium)	41.1	42.2		
Net to Total Volume Ratio	82.3	85.4		

VII Betri upplausn af Mynd 18 Farvegir í Eldhrauni

