

Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá

Samantekt



Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá

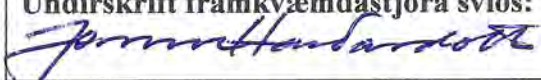

Samantekt

Davíð Egilson¹, Matthew J. Roberts¹, Emmanuel Pagneux¹, Esther Hlíðar Jensen¹,
Magnús Tumi Guðmundsson², Tómas Jóhannesson¹, Matthías Ásgeir Jónsson¹,
Snorri Zóphóníasson¹, Bogi B. Björnsson¹, Tinna Þórarinsdóttir¹ og Sigrún Karlsdóttir¹

¹ Veðurstofa Íslands

² Háskóli Íslands

Lykilsíða

Skýrsla nr. VÍ 2018-016	Dags. Desember 2018	ISSN: 1670-8261	Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/> Skilmálar:
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá Samantekt		Upplag: 35 Fjöldi síðna: 59 Framkvæmdastjóri sviðs: Jórunn Harðardóttir	
Höfundar: Davíð Egilson, Matthew J. Roberts, Emmanuel Pagneux, Esther Hlíðar Jensen, Magnús Tumi Guðmundsson, Tómas Jóhannesson, Matthías Ásgeir Jónsson, Snorri Zóphóníasson, Bogi B. Björnsson, Tinna Þórarinsdóttir og Sigrún Karlsdóttir		Verkefnisstjóri: Matthew J. Roberts Verknúmer: 3721-0-0006	
Gerð skýrslu/verkstig: Lokaskýrsla		Málsnúmer: 2016-134	
Unnið fyrir: Ofanflóðasjóð			
Samvinnuaðilar: Jarðvísindastofnun Háskólans, Náttúrustofa Suðausturlands			
Útdráttur: Dagana 1.–10. október 2015 varð mikið hlaup í Skaftá úr Eystri-Skaftárkatli í Vatnajökli. Talið er að það hafi náð um 3000 m ³ /s rennsli í hámarki. Í kjölfar hlaupsins var Veðurstofunni falið að meta hættu vegna Skaftárhlaupa. Í skýrslu þessari eru dregin saman meginatriði úr sex áfangaskýrslum sem unnar voru í tengslum við hættumatið. Áfangaskýrslurnar fjalla um: útbreiðslu og flóðhæð Skaftárhlaupsins haustið 2015; mat á setflutningi og sögulegt yfirlit; set í hlaupi haustið 2015; kvörðun straumfræðilíkans; hermun flóðasviðsmynda; og Skaftárkatla – sögu og þróun 1938–2018. Samantekt niðurstaðna er birt hér í kaflanum „Skaftárhlaup í hnotskurn.“			
Lykilorð: Skaftá, Skaftárhlaup, jökulhlaup, útbreiðsla, flóðhraði, flóðasviðsmyndir, setframburður, straumfræðilíkan, tjónmætti, hættumat, landlíkan		Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs:  Undirskrift verkefnisstjóra:  Yfirfarið af: SG, BE, OSig, ÁS, JHa, HH	

Efnisyfirlit

Myndaskrá.....	6
Töfluskrá.....	7
Skaftárhlaup í hnotskurn	9
Summary in English.....	13
1 Inngangur	17
1.1 Viðfangsefnið.....	17
1.2 Tilgangur verkefnisins	17
2 Skaftárhlaup, einkenni og áhrif.....	18
2.1 Farvegur Skaftár.....	18
2.2 Einkenni Skaftárhlaupa.....	18
2.3 Skaftárkatlar	22
2.4 Útbreiðsla og ferðatími hlaupa.....	24
2.5 Hlaupið í október 2015	26
2.6 Setframburður	29
2.7 Mengun af gasi upp við jökul í hlaupum	33
2.8 Gróðureyðing og uppfok.....	33
2.9 Áhrif á samfélag í Skaftárhreppi.....	36
3 Sviðsmyndir og niðurstöður hermana	37
3.1 Val á sviðsmyndum.....	37
3.2 Útbreiðsla og vatnshæð.....	37
3.3 Afleiðingar flóðs af stærðargráðunni 6000 m ³ /s	41
3.3.1 Tjónmætti flóðvatns	41
3.3.2 Setframburður	47
3.4 Helstu óvissuþættir um niðurstöður hermananna.....	47
4 Hvert stefnir?	49
4.1 Hlaupin sjálf og setframburður	49
4.2 Fok og loftgæði	49
5 Mótvægisáðgerðir og ábendingar.....	51
5.1 Vöktun og viðvörunarkerfi.....	51
5.2 Bætt landlíkan	51
5.3 Landnotkun og skipulag.....	51
5.4 Upplýsingagjöf og uppbygging þekkingar meðal almennings.....	51

6	Pakkir	52
7	Heimildir	53
	Viðauki I. Viðhorf heimamanna til Skaftárhlaupsins 2015	56
	Viðauki II. Hlaupið 2018.....	58

Myndaskrá

Mynd 1.	Leið Skaftár frá jökli í megindráttum.	19
Mynd 2.	Hlaup úr Skaftárkötlum á tímabilinu 1955–2018	20
Mynd 3.	Hámarksdagsmeðalrennsli ársins fyrir tímabilið 1987–2016 við Sveinstind	21
Mynd 4.	Skaftárhlaup – dreifing hlaupa yfir árið, árabilið 1955–2018.....	21
Mynd 5.	Þróun stærðar Skaftárkatla frá 1938	23
Mynd 6.	Hlaupið 2015. Útbreiðsla vatns við Sveinstind við hámarksrennsli	24
Mynd 7.	Loftmynd af Skaftárdal-Eldhrauni þar sem áin skiptir sér.....	25
Mynd 8.	Skaftárhlaup. Mælt rennsli í september/októberhlaupi 2015	26
Mynd 9.	Skipting og útbreiðsla hlaupvatns í Skaftárhlaupi haustið 2015.....	27
Mynd 10.	Útbreiðsla jökulhlaups haustið 2015 samkvæmt reiknilíkani	28
Mynd 11.	Árlegur framburður svifaurs við Sveinstind	30
Mynd 12.	Breyting á farvegum í Eldhrauni milli árana 1945 og 2017	31
Mynd 13.	Framrás sets á yfirborði Eldhrauns við Skálarál	32
Mynd 14.	Jarðvegsrof í Eldhrauni árið 2012.....	34
Mynd 15.	Samanburðargreining á hvar set hefur lagst yfir gróður eftir Skaftárhlaup 2015 ...	35
Mynd 16.	Þjóðvegur 1. Rykmistur yfir Eldhrauni 2. maí 2016.....	36
Mynd 17.	Útbreiðsla hlaupvatns á hálendi	38
Mynd 18.	Útbreiðsla hlaupvatns í byggð	39
Mynd 19.	Áhrif flóða á grunnvatnsstöðu í Eldhrauni.....	40
Mynd 20.	Hlutfallsleg dreifing hlaupvatns sem rennur fram neðan mælis við Skaftárdal.....	41
Mynd 21.	Tjónmætti hlaupa við Skaftárdal.....	43
Mynd 22.	Tjónmætti hlaupa við Flögulón.....	44
Mynd 23.	Tjónmætti hlaupa við Meðalland.....	45
Mynd 24.	Tjónmætti hlaupa við Kirkjubæjarklaustur.....	46
Mynd 25.	Hugsanleg framtíðarþróun rennslis við Brest	50
Mynd 26.	Upphaf Skaftárhlaups í ágúst 2018 skv. GPS-mælingum í Eystri-Skaftárkatli.	59

Mynd 27. Heildarrennsli við Sveinstind í Skaftárhlaupum 2015 og 2018 eftir að leiðrétt hefur verið fyrir framhjärennslu	59
---	----

Töfluskrá

Tafla 1. Fjarlægð og ferðatími flóðs milli mæla fram að hlaupinu 2015	25
Tafla 2. Ferðatími flóðs milli mælistaða í hlaupinu haustið 2015.	29
Tafla 3. Kvarði yfir tjónmætti jökulhlaupa	42

Skaftárhlaup í hnotskurn

Í skýrslu þessari eru dregin saman meginatriði úr áfangaskýrslum sem unnar voru í tengslum við hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá. Vísað er í þær varðandi ítarlegri upplýsingar um afmarkaða þætti (Emmanuel Pagneux o.fl., 2018a; Emmanuel Pagneux o.fl., 2018b; Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018a; Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018b; Matthías Ásgeir Jónsson o.fl., 2018; Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., 2018).

- Rennslishættir Skaftár einkennast af tíðum jökulhlaupum sem eiga upptök í Skaftárkötlum í Vatnajökli. Heimildir eru um hlaup í Skaftá fyrir Skaftárelda og er Landbrotshraunið sem liggur undir Eldhrauni mjög sandorpið. Jarðhitavirkni undir Skaftárkötlum bræðir þar ís og myndar lægðir í yfirborð jökulsins en undir þeim safnast vatn í lón við jökulbotninn. Í hlaupum leitar vatnið þangað sem fyrirstaða er minnst og er það oftast einungis til Skaftár.
- Skaftárhlaup hefjast þegar þrýstingur vatnsins yfirvinnur mótstöðu íssins og vatnið brýtur sér leið úr katlinum. Jarðhitavirknin er ráðandi þáttur í uppsöfnuninni en tímasetning hlaupanna eftir að nægilegri hæð er náð virðist að nokkru leyti ráðast af streymi leysingar- og regnvatns til katlanna. Árstíðasveifla í leysingu og breytileiki í veðurfari sem orsaka aukið innrennsli ráða þannig nokkru um tímasetningu hlaupa og stjórna að hluta hversu langur tími líður milli hlaupa.
- Skaftárhlaupin hafa komið með til þess að gera reglulegu millibili undanfarin 50 ár. Á árabílinu 1955–2018 komu 28 hlaup úr eystri katlinum en hlaup úr þeim vestari eru tíðari. Úr honum komu 30 hlaup á tímabilinu 1972–2018. Undanfarin 50 ár lætur því nærri að það hlaup úr kötlunum einu sinni á ári að meðaltali.
- Veruleg breyting varð á eðli hlaupanna á áratugnum 1950–1960. Á fyrri hluta 20. aldar benda heimildir til þess að hlaup hafi orðið u.þ.b. árlega og verið mun minni en nú. Eystri-Skaftárketill var á árunum fyrir 1950 miklu minni en síðar varð og Vestari-Skaftárketill myndaðist á árunum 1945–1960. Hlaupin fyrir 1960 hafa því komið úr eystri katlinum. Samanlagt varmaafli jarðhitasvæðanna undir kötlunum hefur á sjötíu ára tímabili vaxið úr fáeinum hundruðum megawatta í 1500 MW að lágmarki.
- Vísbendingar eru um að hegðun hlaupanna nú sé að breytast frá því sem var á árabílinu 1955–2010, væntanlega vegna breytinga á jarðhitavirkninni undir Skaftárkötlum sem leiðir til breytinga á lögun og útmörkum katlana. Hlaup úr Eystri-Skaftárkatli kunna að verða sjaldnar og þeim mun stærri.
- Fylgni er á milli hámarksrennslis og tímans frá síðasta hlaupi. Í kjölfar lengsta hlés milli hlaupa 2010–2015 úr eystri katlinum kom mesta Skaftárhlaup sem vitað er um í október 2015 með rennsli um 3000 m³/s.
- Rofmáttur hlaupanna og framburðargeta þeirra ræðst mikið til af hámarksrennsli en heildarrúmtak hlaupanna ræður miklu hve langt framburðurinn nær fram á hraunin. Á meðan flæðið út á hraunin er umfram það sem nær að streyma í gegnum þau safnast vatnið upp og teygir sig lengra og lengra. Vatnið í hraununum eykst því þar til hlaupinu er nær lokið og áin er að mestu lögst aftur í farveg sinn. Hlaupin valda tjóni á mannvirkjum og grónu landi, einkanlega í Skaftárdal.

- Gífurlegur framburður situr eftir á landi þar sem flætt hefur. Aurkeilur hafa myndast við Fögrufjöll og Flöglón. Þá hafa orðið óafturkræfar breytingar á Eldhrauni þar sem setgeirar við Brest og Skálarál lengjast með hverju hlaupi. Þessi þróun hefur áhrif á grunnvatnsrennsli í Landbroti vegna þess að aurinn fyllir Eldhraunið smám saman.
- Hætta er á slysum vegna brennisteinsmengunar við upptakasvæði hlaupanna og nokkuð niður með farvegi Skaftár frá jökuljaðri.
- Mikil rykmengun er í Skaftárdal og sveitunum þar í kring eftir hlaup, mest eftir stór hlaup úr eystri katlinum. Í kjölfar hlaupanna er einnig hætta á sandfoki í sveitinni eins og gerðist eftir Skaftárhlaupið 2015. Þá kom fyrir að fólk þurfti að ganga með grímur.
- Líkanreikningar benda til þess að hlaupið í október 2015 hafi náð um 3000 m³/s rennsli í hámarki, sem er langt umfram fyrri hlaup. Hins vegar var rúmtak hlaupsins ekki það mesta sem mælst hefur við Sveinstind eða um 425 Gl¹ að meðtöldu grunnrennsli árinna meðan á hlaupinu stóð.
- Árlegur framburður í dagsmeðalrennsli Skaftár við Sveinstind síðustu 30 ár er um 5,5 milljónir tonna. Framburður einstakra hlaupa sem standa nokkra daga er oft um 2,5 milljónir tonna en getur orðið mun meiri, var til dæmis 6,6 milljónir tonna árið 1995. Framburður hlaupsins árið 2015 er sá langmesti sem mælst hefur til þessa, á bilinu 8,6–14,1 milljónir tonna, sem samsvarar að efnismagni 1 m háum og 10 m breiðum vegi sem lægi frá Kirkjubæjarklaustri norður fyrir land að Borðeyri eða Akureyri eftir því hvor talan er tekin.
- Góður viðbragðstími og markviss vöktun er afgerandi varðandi skipulegan viðbúnað við Skaftárhlaupum. Við upphaf hlaupanna 2015 og 2018 fékkst viðvörðun frá GPS mæli, sem rekinn var í eystri katlinum, tveimur til þremur dögum áður en hlaupvatn náði niður að Skaftárdal. Sambærileg viðvörðun vegna óróa á skjálftamælum sést nokkrum klukkustundum eftir að hlaupið leggur af stað úr katlinum. Aðeins fjórir til fimm tímar líða frá því hlaups verður fyrst vart við Sveinstind þar til það nær niður að Skaftárdal. Frá upphafi hlaups við Sveinstind að hámarksrennsli við Ása líða 48 klukkustundir. Æskilegt er hefja vöktun katlana með GPS mæli í síðasta lagi um það bil tveimur árum eftir síðasta hlaup.
- Sviðsmyndir sem gera ráð fyrir hámarksrennsli upp á 4500 m³/s og 6000 m³/s við jökuljaðar hafa verið hermdar (Emmanuel Pagneux o.fl., 2018b). Markmiðið er að fá hugmynd um útbreiðslu og vatnsdýpt slíkra hlaupa. Sviðsmyndirnar byggja á ákveðnum forsendum um rennsli og upptök hlaupsins við jökuljaðar, nákvæmni landlíkans og grunnvatnsstöðu í Eldhraun í upphafi hlaups. Samkvæmt sviðsmyndunum má búast við meiri vatnshæð og auknum áhrifum með vaxandi rennsli. Áhrif ofan Skaftárdals verða til þess að gera lítil nema á afmörkuðum stöðum, svo sem við Hólaskjól og hluta vega á Fjallabaksleið. Neðan Skaftárdals eru líkur á að flæði yfir varnargarðinn við Ásakvíslar og að áin brjóti sér leið niður eftir eldri farvegi og renni yfir þjóðveginn þar. Byggðir munu einangrast við Botna, Höfðakvísl og Eldvatn og að óbreyttu eru líkur á að vatn flæði yfir þjóðveg 1 við Dyngjur. Grunnvatnsstaða ásamt setfyllingu hrauns þegar hlaup verður ræður því hversu langt flóðvatnið berst út á Eldhraun.

¹ 1 Gl = ein milljón rúmmetra (10⁶ m³).

- Hugsanleg breyting á eðli hlaupanna vegna áframhaldandi breytinga á jarðhitasvæðum undir kötlunum getur breytt forsendum hættumats. Ekki er unnt að segja fyrir um slíkar breytingar og þurfa menn því að vera viðbúnir breyttum flóðaháttum frá því sem verið hefur.
- Jarðhitabreytingar geta valdið enn stærri hlaupum en 2015 en þær geta einnig virkað í hina áttina, að hlaup minnki. Mikilvægt er að fylgjast með þróun katlanna með reglubundinni kortlagningu á yfirborði jökulsins í og við katlana og endurteknum íssjármælingum.
- Þegar verið var að vinna að lokagerð þessarar skýrslu sumarið 2018 braust fram nýtt hlaup í Skaftá þann 3. ágúst 2018. Unnt var að sjá flóðið fyrir með tveggja daga fyrirvara vegna vöktunar á hæð Eystri-Skaftárketils með GPS-mæli. Samanlagt rúmmál hlaupsins og grunnrennslis árinna meðan á hlaupinu stóð hefur verið metið um 500 Gl. Þar af var hlaupið sjálft um 435 Gl en grunnrennslid um 65 Gl. Hlaupið er með stærri hlaupum og óvenjulegt þar sem báðir katlarnir tæmdust í einu. Útbreiðsla hlaupsins var í góðu samræmi við hermun sem gerð var í tengslum við hættumatið (Matthías Ásgeir Jónsson o.fl., 2018; Emmanuel Pagneux o.fl., 2018b). Mikið flóðvatn rann fram um Dyngjur. Það vatnsmagn er háð lengd flóðtoppsins, grunnvatnsstöðu og setfyllingu frá fyrri hlaupum. Líkur eru á að hið mikla flóðvatn við Dyngjur hafi stafað af setframburðinum frá hlaupinu 2015 eins og rakið er í Esther Hlíðar Jensen o.fl. (2018b).
- Ein mikilvægasta mótvægisáðgerð vegna náttúruvár er að taka tillit til hættumats við skipulag og ákvarðanir um landnotkun. Það getur dregið verulega úr tjóni vegna jökulhlaupa eins og eru í Skaftá. Góðar og framsýnar ákvarðanir um vegakerfi, varnargarða, landnýtingu og ferðamannastaði geta skipt sköpum um afleiðingar flóða.

Summary in English

This report summarises the main results of a hazard-assessment project in connection with glacial outburst floods (jökulhlaup) in the Skaftá river, southern Iceland. The report synthesises results from six thematic studies, which represent the findings of the project. For further details, see the English summaries in Guðmundsson *et al.* (2018); Jensen *et al.* (2018a, b), Jónsson *et al.* (2018), and Pagneux *et al.* (2018a, b). The results of the project will be used as a long-term basis for estimating the downstream impact of jökulhlaups in Skaftá, as described in the following points.

- Jökulhlaups in Skaftá are sourced from two subglacial lakes, formed due to persistent geothermal activity beneath Vatnajökull. Such activity is apparent on the ice-surface as a circular depression, known as an ice cauldron. On average, the two neighbouring cauldrons drain every one to two years, producing floods ranging in maximum discharge from hundreds to occasionally thousands of cubic metres per second. When the interval between floods is short, the flood tends to be smaller, with the eastern cauldron responsible for the largest floods. There are accounts of glacial flooding in Skaftá since at least the late eighteenth century.
- Floods from the Skaftá cauldrons occur when meltwater overcomes a dam created by ice impounding the reservoir. The initially slow leakage of water increases at very fast rate over tens of hours. Although geothermal activity is responsible for most of the meltwater accumulation, the exact timing of the floods is variable, and it seems that meltwater inputs from the ice-surface can help to trigger the drainage of an almost full reservoir. Seasonal variations in summer rainfall and snow-melt can therefore influence the timing of individual jökulhlaup.
- During the past 50 years, jökulhlaups in Skaftá have occurred at regular, almost annual intervals from either of the two cauldrons. Between 1955 and 2015, 27 jökulhlaups were recorded from the eastern cauldron; however, the western cauldron produces the most frequent floods, with 28 documented between 1972 and 2015.
- Considerable changes were observed in the timing and size of Skaftá jökulhlaups in the 1950s and 1960s. In the first half of the twentieth century, floods occurred on an almost annual basis and they were smaller than the present-day floods. From aerial photographs, it is apparent that before 1950 the eastern cauldron was smaller than in recent years. Photographs also confirm that the western cauldron formed between 1945 and 1960. Jökulhlaups in Skaftá before 1960 are therefore assumed to have originated from the eastern cauldron. Changes in the year-to-year size of the cauldrons indicate that the combined thermal power of the geothermal fields beneath them has increased from a few hundred megawatts around 1940 to at least 1500 MW by 1970.
- Compared to 1955–2010, there are signs of modern-day changes in the size and timing of Skaftá jökulhlaups. This is presumably due to corresponding changes in geothermal activity beneath the cauldrons, which leads to changes in the shape and extent of the subglacial reservoirs. Jökulhlaups from the eastern cauldron have the potential to become less frequent but consequently much larger.

- There are strong links between the maximum downstream discharge of Skaftá jökulhlaups, the volume of floodwater drained, and the interval since the previous outburst. The largest jökulhlaups extent far beyond the normal confines of Skaftá, resulting in widespread deposition of sediment.
- The potential for sediment erosion and transport during Skaftá jökulhlaups depends largely on the maximum discharge of the flood, with floodwater volume influencing how far sediment-laden water can ingress the surrounding lava fields. When excess floodwater spreads over lava, it allows water to accumulate and progressively extend beyond the Skaftá river. Typically, floodwater accumulates in the lava fields until the jökulhlaup has almost ended; at this point Skaftá returns to normal flow while floodwater remains ponded in the lava, draining as groundwater over several days. Alongside damage to infrastructure, Skaftá jökulhlaups cause harm to vegetated surfaces, particularly in the Skaftárdalur valley.
- Exceptionally large volumes of sediment have been deposited by Skaftá jökulhlaups, resulting in alluvial fans developing at Fögrufjöll in the highland and Flögulón in the lowland. Irreversible changes have occurred at Brestur and Skálaráll on the Eldhraun lava-field, where sediment deposits become more extensive with each jökulhlaup. Gradual infilling of the lava by fine sediments affects groundwater conditions in Landbrot.
- Dangerous concentrations of hydrogen sulphide can form where geothermal floodwater bursts from the ice margin, in addition to the downstream flood-path.
- Significant dust pollution occurs in Skaftárdalur and the surrounding region following Skaftá jökulhlaups, particularly after a large jökulhlaup from the eastern cauldron. Sandstorms can also pose a problem following Skaftá jökulhlaups, as was the case in the autumn of 2015 when dust masks had to be used. Dust pollution will probably continue to occur with unchanged situation.
- Model simulations suggest that the autumn jökulhlaup of 2015 reached a maximum discharge around $3000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, which is much larger than previous floods. In terms of floodwater drained, the 2015 jökulhlaup was not the largest recorded, having a volume of 425 Gl, including the baseflow of Skaftá during the flood.
- Based on daily averaged discharge, the suspended-sediment load of Skaftá during the past 30 years is around 5.5 million tonnes annually. The volume of suspended-sediment transported by individual jökulhlaups is often around 2.5 million tonnes over a few days; however, the amount can be much greater, as was the case in 1995 when a jökulhlaup mobilised 6 million tonnes of sediment. The autumn 2015 jökulhlaup transported 8.6–14.1 million tonnes of suspended sediment, which is by far the largest volume known for a flood in Skaftá.
- Comprehensive monitoring and an adequate reaction-time to warnings are crucial factors in the long-term preparedness for flooding in Skaftá. The onset of jökulhlaups from the eastern cauldron in 2015 and 2018 was detected in continuous GPS measurements of the cauldron's ice-surface, which revealed subsidence three days ahead of floodwater reaching Skaftárdalur. Seismic stations on and around Vatnajökull can also be used to detect early signs of floodwater draining from the ice cauldrons. On arrival of the flood-front at Sveinstindur, it takes a typical jökulhlaup six hours to reach Skaftárdalur. An

approximate 48-hour interval separates the onset of flooding at Sveinstindur from the peak of downstream discharge at Ásar. To ensure adequate preparedness for the next jökulhlaup from the eastern cauldron, dedicated GPS-based monitoring should resume approximately two years following the previous flood.

- Jökulhlaups of $4500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ and $6000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in Skaftá have been modelled from the edge of Vatnajökull to the lowlands (Pagneux *et al.*, 2018b). The purpose of the simulations was to assess the extent and depth of the hypothetical floods. The work was based on assumptions about the outburst location at the edge of Vatnajökull, the accuracy of the digital elevation model used in the simulations, and groundwater conditions within Eldhraun at the onset of the floods. The simulations show that the impact of the floods heightens with increasing discharge. In the upper part of Skaftárdalur, the impact of the simulated jökulhlaups is low due to constraining topography. In the lower part of the valley, floodwater can spread beyond existing levees, causing disruption to the main highway on Eldhraun. Groundwater conditions and the level of sedimentation in the lava will determine how far floodwater can extend across Eldhraun.
- Changes in geothermal activity beneath the Skaftá cauldrons could influence the nature of future jökulhlaups, thus affecting hazard assessments. Such changes cannot necessarily be foreseen so preparations should be taken for a possibly worsening flood situation.
- An upsurge in geothermal activity beneath the Skaftá cauldrons could result in a jökulhlaup larger than in 2015; likewise, a decrease in activity would have the opposite effect. To monitor changes in geothermal activity, it is important to follow the evolution of the cauldrons with regular mapping of the ice-surface as well as repeated radio-echo soundings.
- In the final stages of writing this report, a jökulhlaup occurred from the eastern cauldron on 3 August 2018. The flood was detected through GPS measurements of the cauldron's surface, allowing for a two-day public warning. The total volume of the flood was estimated at 500 Gl, comprising 435 Gl of floodwater and 65 Gl of baseflow. The 2018 jökulhlaup was one of the largest recorded floods in Skaftá and it was exceptional as both cauldrons emptied. The inundation area of the 2018 jökulhlaup was in good agreement with modelling results presented in Jónsson *et al.* (2018) and Pagneux *et al.* (2018b).
- Land-use planning that takes natural hazards into account is one of the most effective measures against flood risk. Such an approach can significantly reduce the damage caused by jökulhlaups. Circumspect decisions about land-use planning and the design and location of highways, flood defences, and tourist sites can help to minimise the impact of jökulhlaups.

1 Inngangur

1.1 Viðfangsefnið

Dagana 1.–10. október 2015 varð mikið hlaup í Skaftá úr Eystri-Skaftárkatli í Vatnajökli. Samanlagt rúmmál hlaupsins og grunnrennslis árinna meðan á hlaupinu stóð hefur verið metið 425 Gl og þar af rúmmál hlaupsins sjálfs 365 Gl. Meiru skiptir að hámarksrennslis hlaupsins var um 3000 m³/s, sem er langt umfram það sem mest hafði orðið í fyrri hlaupum (Matthías Ásgeir Jónsson o.fl., 2018). Vegna hins mikla rennslis fór mun meira land undir vatn en dæmi eru um. Framburður og útbreiðsla hans í hlaupinu 2015 var meiri en nokkru sinni áður og set settist til á stórum svæðum sem flóðið náði til niður eftir farveginum (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018b). Mannvirkjum á nokkrum stöðum stafaði einnig veruleg hættu af flóðinu.

Í kjölfar flóðsins fól umhverfis- og auðlindaráðuneytið Veðurstofunni að meta hættu vegna Skaftárhlaupa og var hættumatið kostað af Ofanflóðasjóði. Verkefnið er hluti af heildarhættumati vegna eldgosa á Íslandi sem hlotið hefur yfirheitið GOSVÁ. Veðurstofa Íslands stýrir verkefninu, í samvinnu við Jarðvísindastofnun Háskólans, Almannavarnadeild Ríkislögreglustjóra, Landgræðsluna og Vegagerðina. Verkefnið er víðtækt og eitt af því sem fellur þar undir er að gera hættu- og áhættumat fyrir svæði sem orðið geta fyrir jökulhlaupum. Það lá því beint við að fella verkefnið sem fjallað er um hér undir hatt verkefnisins GOSVÁ.

Nýtt hlaup varð í Skaftá í byrjun ágúst 2018 þegar unnið var að lokagerð þessarar skýrslu. Fjallað er stuttlega um það í Viðauka II.

1.2 Tilgangur verkefnisins

Markmið verkefnisins er að meta hættu af völdum Skaftárhlaupa og draga saman helstu upplýsingar sem eru nauðsynlegar vegna viðbúnaðar við þeim. Verkefnið var brotið niður í nokkra þætti þar sem m.a. var farið yfir umfang Skaftárhlaupsins 2015. Kannað var hvaða áhrif misstór jökulhlaup hafa á svæðinu með reiknilíkani. Setframburður hefur verið mikill og hafa jökulhlaupin undanfarna áratugi átt þar stóran þátt. Til þess að fá betri yfirsýn og skilning á því hvers má vænta, voru teknar saman upplýsingar um setframburð í sögulegu samhengi og setframburður í hlaupinu 2015 kannaður sérstaklega. Enn fremur var þróun Skaftárkatla undanfarna 80 ár könnuð en elstu gögn eru frá 1938. Sérstakar skýrslur hafa verið teknar saman um þessa þætti og eru þær aðgengilegar á vef Veðurstofunnar, www.vedur.is, og verða einnig aðgengilegar á íslenskri eldfjallavefsjá (icelandicvolcanoes.is).

2 Skaftárhlaup, einkenni og áhrif

2.1 Farvegur Skaftár

Skaftá er lindaskotin jökulá og kemur jökulþátturinn undan Skaftárjökli² (Mynd 1). Stærð vatnasviðs Skaftár ofan við Sveinstind er 679 km². Árlegt meðalrennsli Skaftár við Sveinstind var um 40 m³/s í kringum 1990 en hefur farið vaxandi síðustu ár, t.d. var meðalrennslið vatnsárið 2015–2016 67 m³/s (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018b). Aukningin stafar að mestu af aukinni leysingu á jökli. Skýringarinnar er helst að leita í breyttu veðurfari en einnig geta tíð eldgos á síðustu árum haft áhrif því minna endurkast sólarljóss vegna þunnis öskulags getur tímabundið valdið mjög aukinni bráðnun.

Ofan við Sveinstind flæmist Skaftá um aura en rennur þaðan niður í Skaftárdal í einum farvegi. Þar skiptist hún í tvær meginár: Eldvatn að vestan og Skaftá að austan. Þriðja kvíslin Árkvísar rennur út á Eldhraun og hverfur þar ofan í gropið hraunið. Einnig fer mikið vatn út á hraunið út frá Stapaál og Skálarál (Mynd 1).

2.2 Einkenni Skaftárhlaupa

Skaftá er sérstök vegna tíðra jökulhlaupa úr Skaftárkötlum í Vatnajökli (Mynd 2). Flóð í Skaftá eru af tvennum toga. Annars vegar er um að ræða leysingarflóð sem stafa af úrkomu og hita og hins vegar jökulhlaupin, eins og sést á mynd 3 þar sem hæsta dagsmeðaltal hvers árs fyrir rennsli við vatnshæðarmælinn undir Sveinstindi er sýnt með og án hlaupa. Skaftárhlaup koma úr Skaftárkötlum í vestanverðum Vatnajökli þar sem jarðhiti bræðir jökulinn. Skaftárkatlar eru tveir og eru hlaup úr eystri katlinum iðulega stærri en þeim vestari.

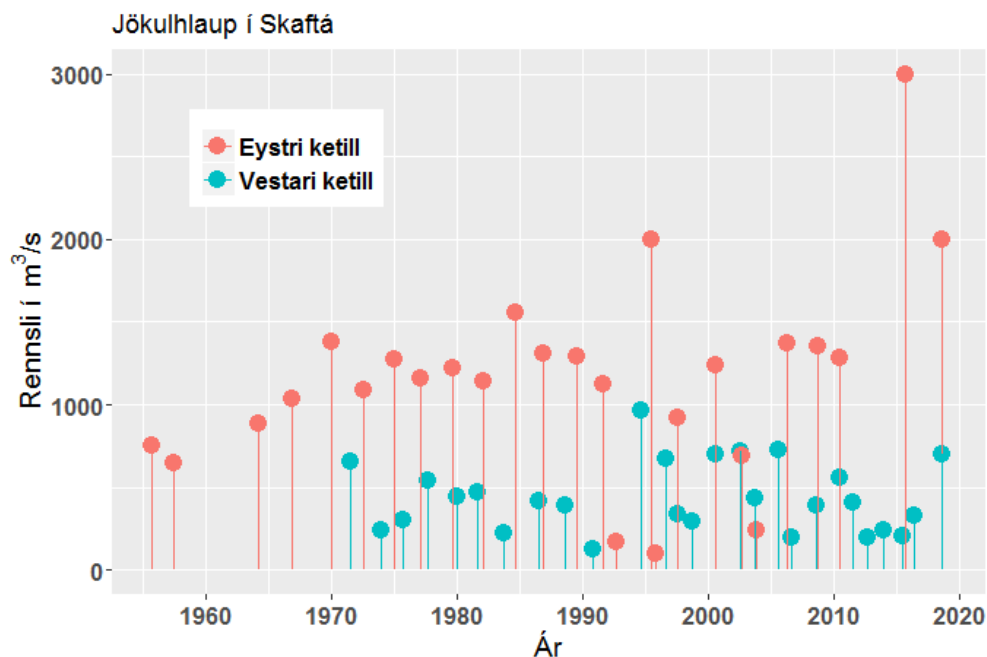
Rétt er að benda á að mynd 3 sýnir ekki hæsta augnabliksgildi rennslisins heldur hæsta dagsmeðalgildið sem er eðlilega yfirleitt nokkru minna en augnabliksgildið þegar það er í hámarki. Dagsmeðaltal leysingarflóða með 100 ára endurkomutíma gæti orðið allt að 400 m³/s. Hæsta dagsmeðaltal rennslis sem rekja má til jökulhlaupa úr Vestari-Skaftárkatli hefur mælst allt að 700 m³/s og eru slík flóð með um 4 ára endurkomutíma á því 30 ára tímabili sem greiningin nær til. Myndin sýnir glögg að flóð úr Eystri-Skaftárkatli eru stærri en flóð úr vestari katlinum og leysingarflóðin. Árið 2015 sker sig talsvert úr en þá mældist hámark dagsmeðaltals rennslisins sem fór um mælistöðina við Sveinstind um 1700 m³/s, en að teknu tilliti til rennslis sem fór fram hjá mælistöðinni (sjá kafla 2.5) hefur það verið um 2000 m³/s.

Skaftárhlaup í þeirri mynd sem þau eru nú hófust árið 1955 en til eru heimildir um eldri hlaup (Helgi Björnsson, 1977). Frá árinu 1955 er vitað um 57 jökulhlaup í Skaftá, að meðtöldum tveimur hlaupum sem komið hafa eftir 2015. Frá 1968 hefur að meðaltali komið eitt hlaup á ári. Bræðsluvatnið í kötlunum safnast saman undir yfirborðshviltum í jöklinum og hleypur fram þegar vatnsþrýstingur er orðinn svo mikill að farg jökulsins nær ekki að halda aftur af vatninu.

² Afmörkun Skaftárjökuls og Tungnaárjökuls hefur verið nokkuð á reiki. Hér er valin sú leið samkvæmt gamalli hefð að nefna jöklana eftir vatnsföllum sem úr þeim falla. Tungnaárjökull þar sem Tungnaá kemur fram og Skaftárjökull þar sem Skaftá rennur undan.



Mynd 1. Leið Skaftár frá jökli í meginráttum. Í hlaupum rennur hún til þess að gera í afmörkuðum farvegi niður að Skaftárdal þar sem áin skiptir sér og rennur út á hraunið.



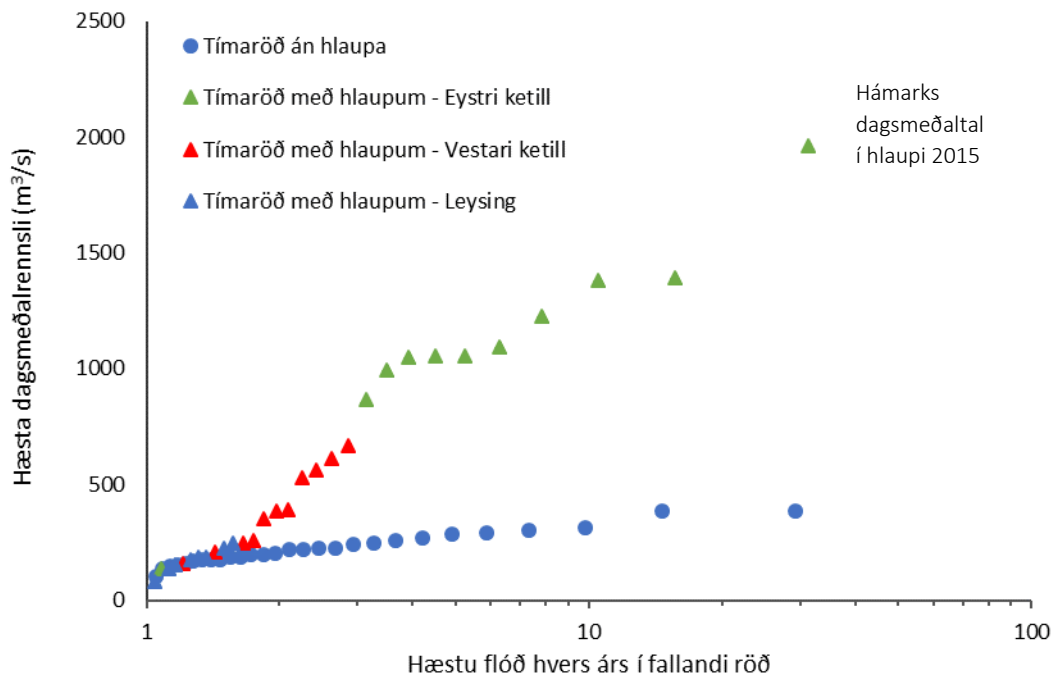
Mynd 2. Hlaup úr Skaftárkötlum á tímabilinu 1955–2018. Í flóðinu 2018 kom vatn úr báðum kötlum en hámarkið var ekki samtímis.

Vatnið rennur um 40 km leið undir jöklinum frá vestari katlinum og 42 km frá eystri katlinum þangað sem fyrirstaða er minnst, þ.e. í farveg Skaftár (Eyjólfur Magnússon, 2003; Finnur Pálsson & Helgi Björnsson, 2002; Helgi Björnsson, 1977; Páll Jónsson, 1993; Snorri Zóphóníasson, 2002; Svanur Pálsson & Snorri Zóphóníasson, 1992).

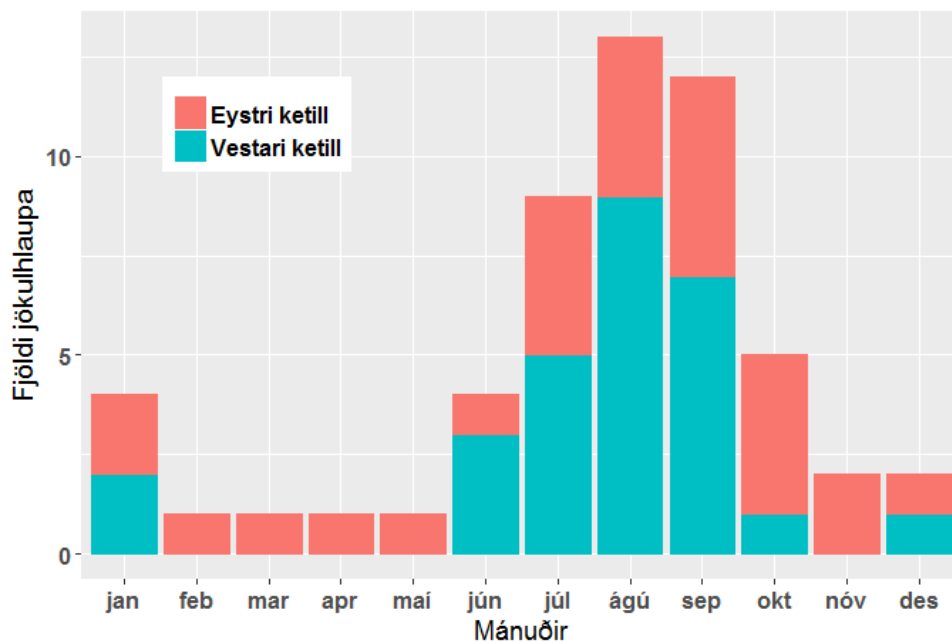
Hlaup úr Skaftárkötlum koma alltaf fram í Skaftá sjálfri en árið 1994 kom einnig hlaupvatn í Hverfisfljót og ári seinna komu hlaup bæði í Hverfisfljót og Djúpá (Bergur Einarsson, 2009; Snorri Zóphóníasson & Svanur Pálsson, 1996). Í nokkrum hlaupum hefur hluti vatnsins brotið sér leið til yfirborðs nærri jaðri jökulsins og borist til norðurs yfir vatnaskilin yfir í Tungnaá. Þessi hluti er lítill og hans verður tæpast vart á rennslismælum. Hins vegar mældist aukin leiðni í Tungnaá 2. okt. 2015 þegar á hlaupinu stóð en slíkt er örugg vísbending um að flóðvatn hafi borist yfir vatnaskilin (Egill Axelsson, 2015).

Hámarksrennsli í hlaupum úr eystri katlinum fyrir hlaupið í október 2015 varð mest um 2000 m³/s árið 1995 en fór í 3000 m³/s í hlaupinu 2015. Rennsli Skaftár getur vaxið úr lágmarksrennsli að vetri í stórflyót á innan við sólarhring. Mat á slíku hámarksrennsli er þó erfitt þar sem í miklu rennsli flæmist áin yfir hraunið ofan við vatnshæðarmælinn við Sveinstind (vhm166). Einhver hluti flóðvatnsins fer ofan í hraunið og hluti þess rennur fram hjá mælistaðnum, eins og vikið verður að í kafla 2.5.

Athygli vekur að flest hlaupin verða á sumrin (Mynd 4). Þekkt er að jaðarlón og aðrir söfnunarstaðir vatns hlaupa oft þegar kemur fram á sumar þegar vatnshæðarmælinn við jökulbotninn hefur þróast nægilega til að ná að svæðum í námunda við söfnunarstaðina. Einnig safnast vatn hratt fyrir í kötlunum á þessum árstíma. Þá koma stundum mjög heitir dagar með mikilli leysingu og hækka vatnsþrýsting við botninn, sem getur orðið til þess að vatn brjóti sér leið út úr kötlunum.



Mynd 3. Hámarksdagsmeðalrennsli ársins fyrir tímabilið 1987–2016 við Sveinstind með hlaupum og án hlaupa. Hámarksrennsli hvers árs yfir tímabilið er raðað í fallandi röð (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018b).



Mynd 4. Skaftárhlaup – dreifing hlaupa yfir árið, árabilið 1955–2018.

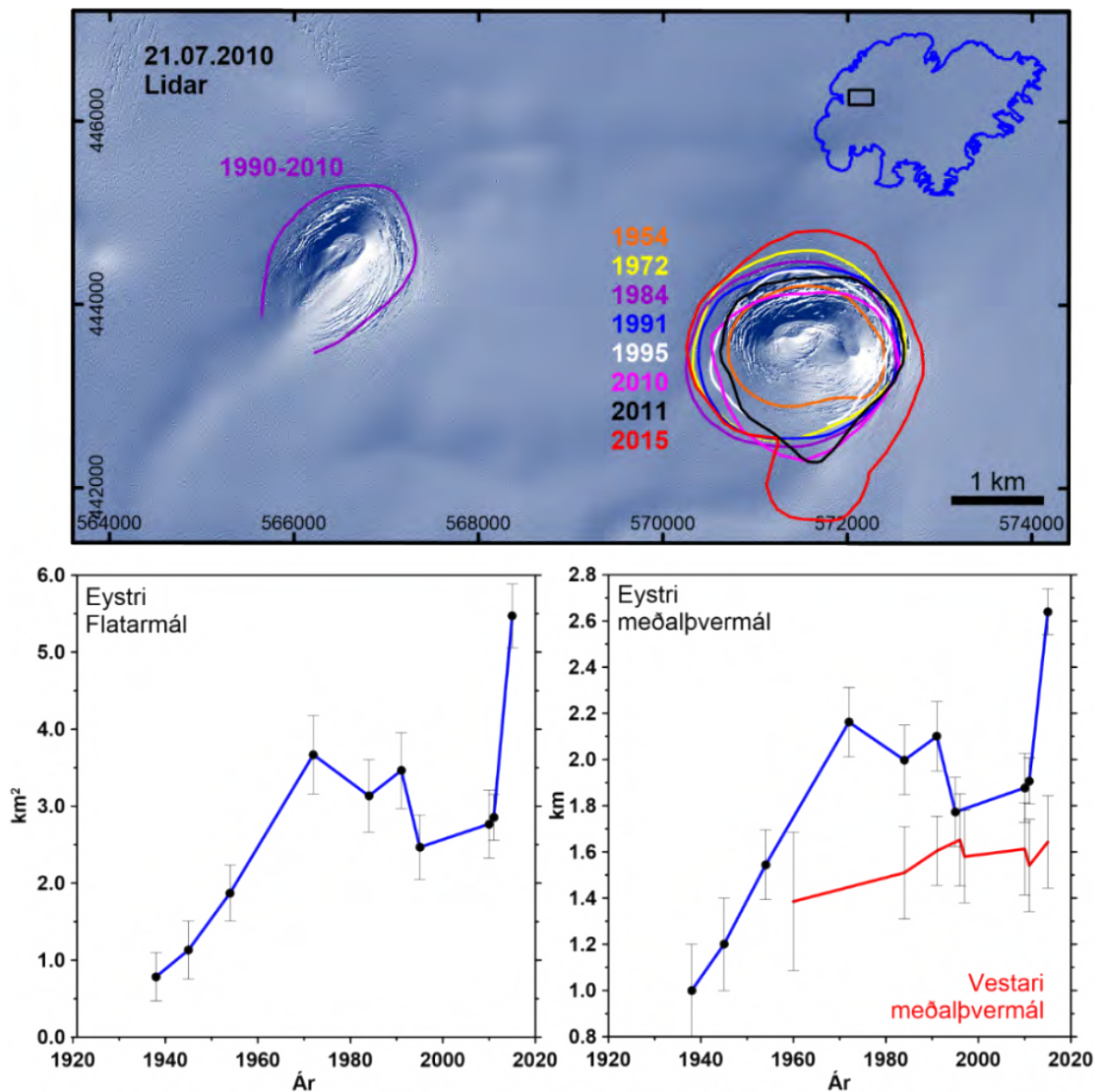
2.3 Skaftárkatlar

Upptök Skaftárhlaupa eru í Eystri- og Vestari-Skaftárkatli í vestanverðum Vatnajökli (Mynd 5) milli Grímsvatna og Hamarsins. Ísþykkt á þessu svæði er víða 400–600 metrar (Helgi Björnsson & Páll Einarsson, 1990). Eystri ketillinn er nú tæpir þrír kílómetrar í þvermál en þvermál þess vestari er rúmlega hálfur annar kílómetri (Mynd 5). Dýpi eystri ketilsins miðað við umhverfið sveiflast milli 80 og 200 m og þess vestari milli 60 og 180 m. Skaftárkatlar skera sig úr öðrum sigkötlum hér á landi sakir stærðar sinnar, reglulegrar vatnssöfnunar og stærðar hlaupanna sem frá þeim koma.

Fyrstu athuganir sem gefa vísbendingar um Skaftárkatlana sjálfa, stærð þeirra og legu, eru ljósmyndir frá 1938 og síðan flugmyndir og loftmyndir frá 5. áratug 20. aldar (Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., 2018). Frá og með 1955 eru til loftmyndir sem teknar hafa verið á 5–10 ára fresti. Frá síðustu 20 árum eru til að minnsta kosti árlegar mælingar á yfirborðshæð í kötlunum og á síðustu árum hafa bæst við endurteknar íssjármælingar og kortlagning.

Í stuttu máli sýna þessi gögn að Skaftárkatlar voru vart til í núverandi mynd fyrir 70–80 árum. Eystri-Skaftárketill var þá varla meira en 1 km í þvermál og ekkert mótar fyrir vestari katlinum á loftmyndum frá 1945 og 1946. Hann var því ekki til á þeim tíma. Vestari ketillinn sést fyrst á loftmynd frá 1960 og sá eystri stækkaði mikið á árunum 1945 til 1970. Hann hefur heldur farið stækkandi og dýpkandi frá því hann kom fyrst fram. Eystri ketillinn hefur hins vegar vaxið í skrefum og var nokkuð stöðugur milli 1980 og 2010. Á árunum 2010 til 2015 varð ekkert hlaup úr eystri katlinum en þess í stað víkkaði ketillinn svo vatnsgeymirinn undir honum stækkaði og teygði sig til suðausturs og norðurs (Mynd 5). Svo er að sjá af siginu sem varð í hlaupinu 2018 að stærð ketilsins hafi þá haldist að mestu óbreytt frá 2015, sbr. Viðauki II.

Jarðhitaafli katlanna var mun minna um 1940 en síðar varð. Af stærð og ummerkjum að dæma hefur eystri ketillinn varla verið nema fá hundruð MW. Varmaaflið fer síðan vaxandi og samanlagt afl undanfarna áratugi er nálægt 1500 MW. Það samsvarar varmaafli hitaveitna á höfuðborgarsvæðinu og á Suðurnesjum (Árni Ragnarsson, 2015). Ekki sjást merki um aukningu undanfarna ár. Stærð hlaupsins 2015 verður því ekki rakin til aukningar í afli, heldur er líklegra að jarðhitinn hafi færst til og ný uppstreymissvæði víkkað það svæði þar sem bráðnunar við botn gætir.



Mynd 5. Þróun stærðar Skaftárkatla frá 1938. Efri myndin sýnir útmörk sigsprungna í eystri katlinum frá og með 1954. Gröfin sýna þróun í stærð sigsvæðisins í eystri katlinum (vinstra grafið) og meðalþvermál beggja katlanna frá 1938 (hægra grafið). Vestari ketillinn kemur fyrst fram 1960 en sést t.d. alls ekki á loftmyndum frá 1945 og 1946 (Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., 2018).



Mynd 6. Hlaupið 2015. Útbreiðsla vatns við Sveinstind við hámarksrennsli (Emmanuel Pagneux o.fl., 2018a). Umtalsvert vatn rennur fram hjá mælistaðnum við Sveinstind þegar flóð eru orðin stærri en $1300 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.4 Útbreiðsla og ferðatími hlaupa

Við flóð í Skaftá fer sléttan ofan Sveinstinds oftast undir vatn og þegar rennsli er orðið um eða yfir $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ rennur umtalsvert vatn fram hjá mælistaðnum við Sveinstind en sameinast meginfarveginum við Kamba (Mynd 6). Þaðan berst hlaupvatnið í til þess að gera afmörkuðum farvegi niður að Skaftárdal, ef frá er talið að áin dreifir töluvert úr sér um hraunið ofan Hólaskjóls. Þegar kemur í Skaftárdal tekur annað við. Meginállinn sem ber stærstan hluta flóðvatnsins liggur vestur með landi að Eldvatni og er efsti hluti Eldhrauns að þjóðvegi í Skaftárdal umflotinn hlaupvatni. Sjá skýringar með mynd 7.

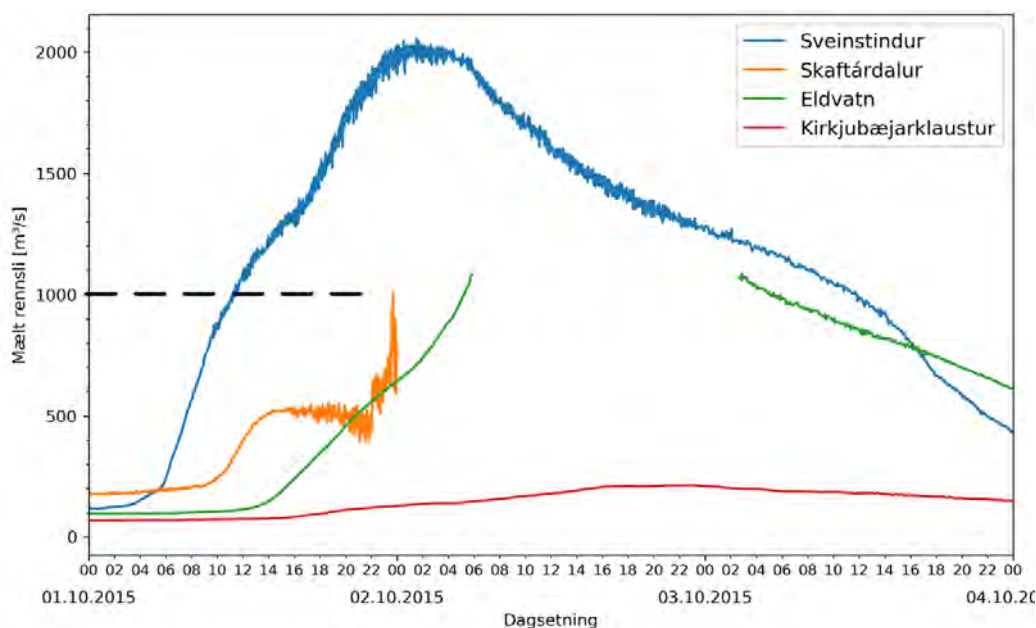


Mynd 7. Loftmynd af Skaftárdal-Eldhrauni þar sem áin skiptir sér (Birt með leyfi frá Landgræðslu ríkisins, október 2018). Í hlaupunum breiðir Skaftá úr sér efst í dalnum yfir Eldhraunið. Miklir sandflákar sjást þar sem vatnið hefur legið mikið á hrauninu. Í hlaupum nær flóðvatnið á yfirborði ósjaldan að þjóðveginum sem heldur vatninu uppi. Vatnið kemur víða aftur upp í hrauninu suðaustan þjóðvegur. Umtalsverður hluti rennur um Brest og hverfur í hraunið.

Tafla 1. Fjarlægð og ferðatími flóðs milli mæla fram að hlaupinu 2015. Staðsetning mæla er sýnd á mynd 1 (Auður Atladóttir o.fl., 2013).

Farvegarkafli	Vegalengd (km)	Ferðatími flóðs (klst.)	Hraði (m/s)
vhm166 (Sveinstindur) – vhm70 (Skaftárdalur)	40,3	4–5	2,4–2,8
vhm70 (Skaftárdalur) – vhm328 (Ása Eldvatn)	18,5	4–5	1,1–1,3
vhm166 (Sveinstindur) – vhm328 (Ása Eldvatn)	58,8	8–10	

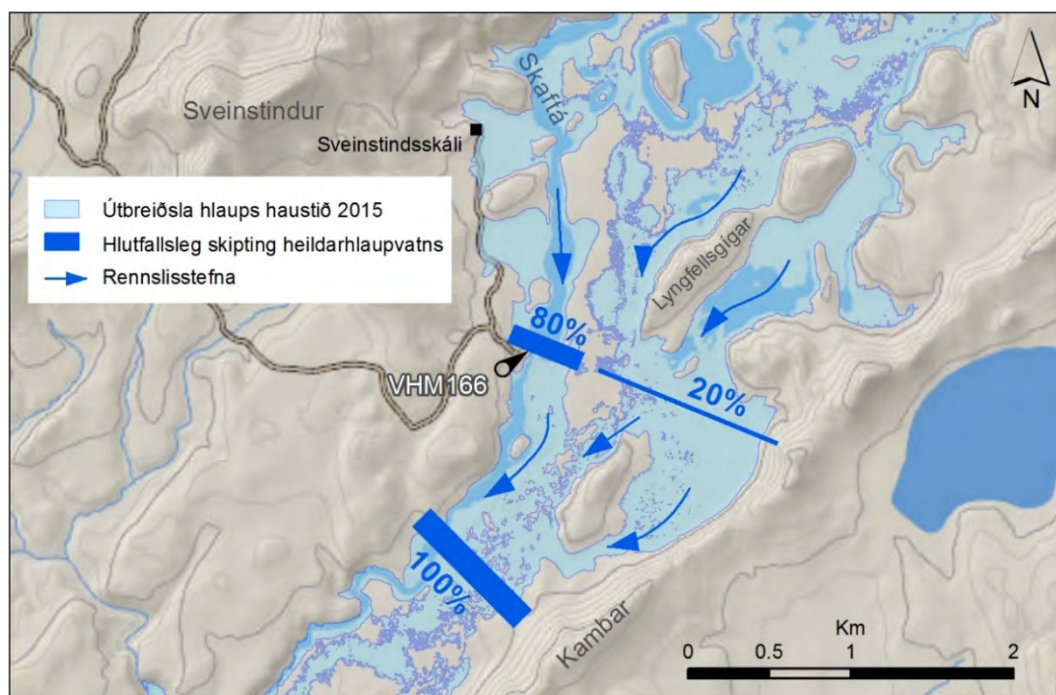
Neðan mælistaðsins, sem nefndur er Ása-Eldvatn, renna Ásakvíslar í Eldvatn og þaðan niður í Flögulón þar sem þessi vestari hluti Skaftár sameinast Tungufljóti og Hólmsá og rennur fram sem Kúðafljót. Minnihluti flóðvatnsins, um eða innan við 10%, rennur fram austanmegin í átt að Kirkjubæjarklaustri en umtalsverður hluti rennur út á Eldhraun þar sem vatnið ýmist sigur niður, rennur að meginfarvegum austan og vestanmegin eða um Brest og Dyngjur (Mynd 7). Ferðatími jökulhlaupa milli mæla fram að hlaupinu 2015 er sýndur í töflu 1.



Mynd 8. Skaftárhlaup. Mælt rennsli í september/októberhlaupi 2015 (Matthías Ásgeir Jónsson o.fl., 2018). Mælingin við Sveinstind endurspeglar ekki rétt rennsli þegar það verður meira en $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ á kvarðanum því þá fer vatn að renna fram hjá mælinum, (svört strikjalína). Sjá nánari skýringar í texta. Ferillinn úr mælinum í Skaftárdal truflast mjög af straumhvirlum.

2.5 Hlaupið í október 2015

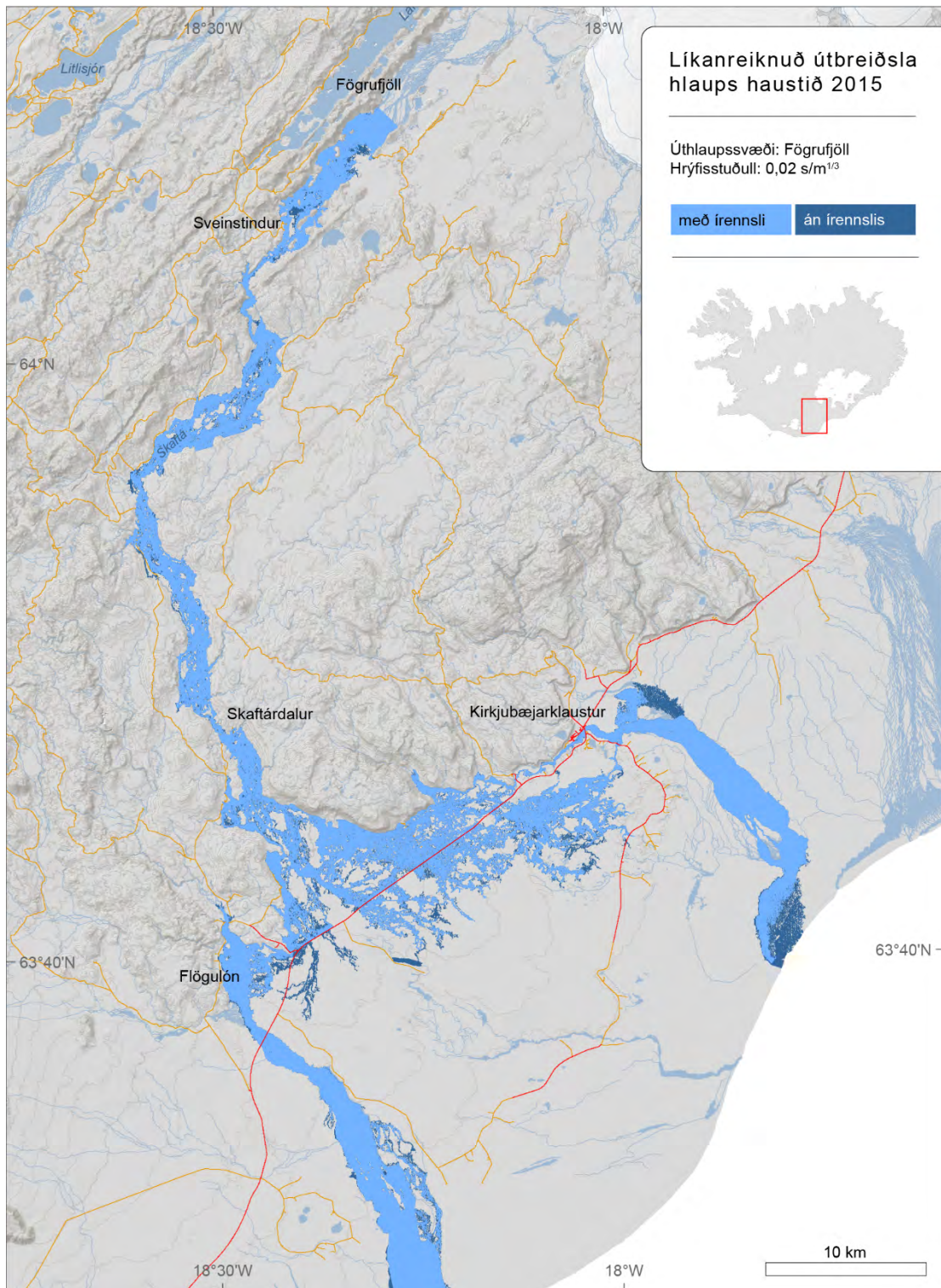
Stærsti hluti hlaupvatnsins í október 2015 virðist hafa brotist undan Skaftárjökli inn af Langasjó á 3,2 km breiðu svæði í 665–675 metra hæð (Emmanuel Pagneux o.fl., 2018a). Á aurkeilu ofan Sveinstinds sem áin hefur byggt upp frá 1955 dreifir hún úr sér en sameinast aftur nokkru fyrir neðan mælinn við Sveinstind. Mynd 8 sýnir rennsli og komutíma flóðsins á mismunandi mælistöðvum niður eftir Skaftá. Upphaf flóðsins sést vel á öllum mælistöðvunum en mælirinn í Skaftárdal eyðilagðist í flóðinu og mælistaðurinn í Eldvatni breyttist svo að mælirinn þar gaf rangt rennsli í hámarki hlaupsins. Samkvæmt straumfræðilegum líkanreikningum var rennslið í meginfarvegi Skaftár við Sveinstind um $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ (Mynd 8). Það er þekkt að við hæstu mælingar ($> 1000 \text{ m}^3/\text{s}$) rennur Skaftá ekki einungis í meginfarveginum við Sveinstind heldur flæmist til austurs (Matthías Ásgeir Jónsson o.fl., 2018). Rennslislykill fyrir mælinn við Sveinstind er því ekki réttur við rennsli yfir $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ og skekkjan eykst hlutfallslega eftir það, (Snorri Zóphóníasson 2015). Áætlað er að hámarksrennsli í Skaftárhlaupi 2015 við Sveinstind hafi verið um $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ að teknu tilliti til grunnrennslis og framhjárennslis utan meginfarvegar árinna (Matthías Ásgeir Jónsson o.fl., 2018; Tómas Jóhannesson o.fl., 2018). Talsverð óvissa er í þessu mati vegna framhjárennslisins og aðferðafræðilegra takmarkana. Samkvæmt líkanreikningum fóru 80% af heildarhlaupvatni um meginfarveg Skaftár en 20% um hliðarfarvegi (Mynd 9).



Mynd 9. Skipting og útbreiðsla hlaupvatns í Skaftárhlaupi haustið 2015 (Matthías Ásgeir Jónsson o.fl., 2018). Samkvæmt líkanreikningum fer um 20% af heildarvatni um hliðarfarvegi fram hjá Lyngfellsíggu. Kortagrunnur: Landmælingar Íslands.

Mynd 10 sýnir helstu útlínur hlaupsins samkvæmt reiknilíkani (Matthías Ásgeir Jónsson o.fl., 2018). Fjallabaksleið nyrðri fór undir vatn á nokkrum köflum við Hólaskjól og lokaðist. Hlaupvatn úr Skaftá flæddi inn eftir lækjarfarvegi sem liggur meðfram Hólaskjóli. Vatnið rann mjög nærri skálunum og náði inn að tjaldsvæðinu. Við Skaftárdal flæddi vatnið yfir brúna á eystri kvíslinni og ruddi burt stórum varnargarði sem heldur að ánni svo hún renni undir vestari brúna. Þessi garður bilar í flestum hlaupum en hefur ávallt verið endurbyggður. Neðan Skaftárdals fór vegurinn á kaf neðan við Hvamm við Svínadal og talsvert flæddi yfir garðinn sem var ætlað að veita Ásakvíslum vestur. Túnin umhverfis Skál voru umflotin (Emmanuel Pagneux o.fl., 2018a). Á mynd 10 er sýnd mismunandi útbreiðsla eftir því hvort flóðvatnið hripar niður í hraunið (írennsli) eða rennur fram á yfirborði, sjá nánar kafla 3.2.

Ferðatími hlaupsins 2015 er sýndur í töflu 2 og er hann sambærilegur við ferðatímamann í töflu 1 sem nær til hlaupa fram að 2015. Flóðvatnið rann út á Eldhraun. Hluti þess rann á yfirborði en annað hripaði niður í hraunið. Framburður í Skaftárhlaupinu í október 2015 var langt umfram það sem mælst hefur í fyrri hlaupum (sjá kafla 2.6).



Mynd 10. Útbreiðsla jökulhlaups haustið 2015 samkvæmt reiknilíkani (Matthías Ásgeir Jónsson o.fl., 2018). Vatnið stöðvaðist víða við veginn en kom síðan fram neðan hans. Nánar er fjallað um írennsli í kafla 3.2. Kortagrunnur: Landmælingar Íslands.

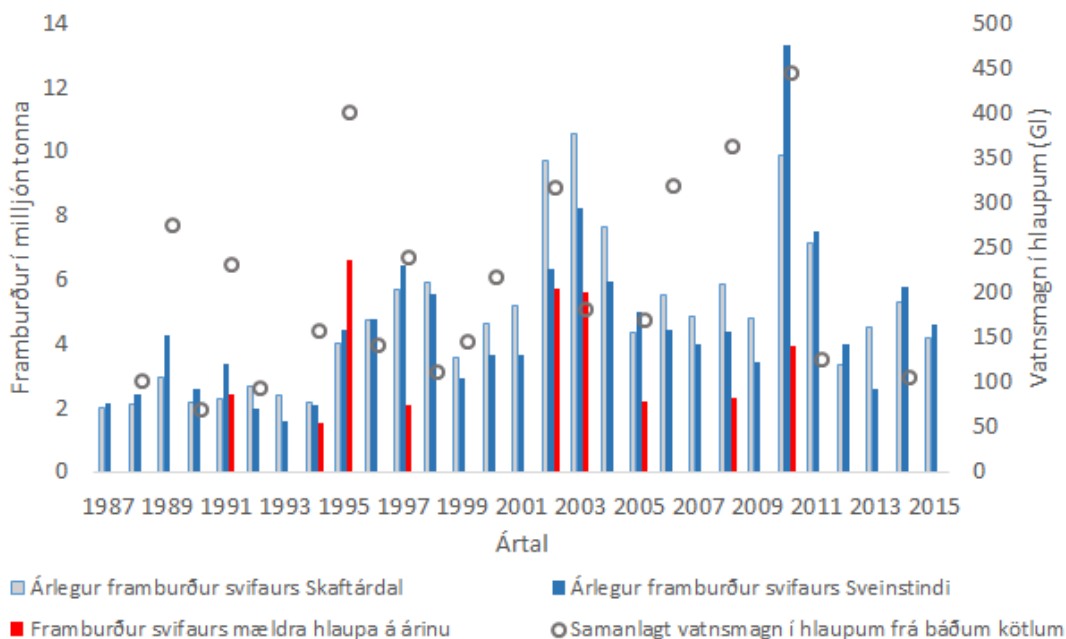
Tafla 2. Ferðatími flóðs milli mælistaða í hlaupinu haustið 2015. Staðsetning mæla er sýnd á mynd 1.

Heiti	Mælistaður	Tímamunur (klst.) frá	
		Skaftárkatli	Sveinstindi
Skaftárketill			
Sveinstindur	vhm166	33	
Skaftárdalur	vhm70	38	5
Ása Eldvatn	vhm528	42	9

2.6 Setframburður

Í venjulegu árferði ber Skaftá fram mikinn aur. Aurburðurinn er talsvert breytilegur milli ára eins og sjá má á mynd 11 sem sýnir að framburðurinn vex mikið í Skaftárhlaupum, þegar gríðarlegt magn af aur bætist við venjulegan framburð. Aukningin kemur bæði frá jökli og aur frá fyrri hlaupum sem situr í farveginum og það sem áin rífur upp þegar hlaupið er í örum vexti, sjá nánar í kafla 4.1. Seinni aurtoppur eftir hámarksrennsli hlaupa, einkanlega úr vestari katlinum, hefur þó mjög greinilega komið með efni úr kötlunum því áin verður mjólkurlituð og jarðhitaleirinn situr ofan á. Mælingar hafa sýnt að framburður í einstökum hlaupum, sem standa að jafnaði í 4–5 daga, getur orðið álíka mikill og Skaftá ber fram á heilu ári án hlaupa. Framburður svifaus við Sveinstind í hlaupinu 2015 reiknast 8,6–14,1 milljónir tonna eða 20–53% meira en í hlaupinu 1995 (Mynd 11). Til þess að setja þessar stærðir í samhengi myndi þetta magn nægja til þess að leggja 10 metra breiðan og eins metra háan veg frá Kirkjubæjarklaustri vestur fyrir land til Borðeyrar eða Akureyrar eftir því hvort miðað er við efri eða neðri mörkin. Rannsókn á vettvangi staðfestir að efnið sest til í hrauninu niður allan farveginn. Útbreiðsla sets í hlaupinu 2015 er meiri en í fyrri hlaupum og ný svæði hafa farið undir sand (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018b). Í hlaupinu 2018 voru tekin 10 setsýni við Sveinstind, fjögur við Kirkjubæjarklaustur og sjö við Ása-Eldvatn. Þau bíða úrvinnslu.

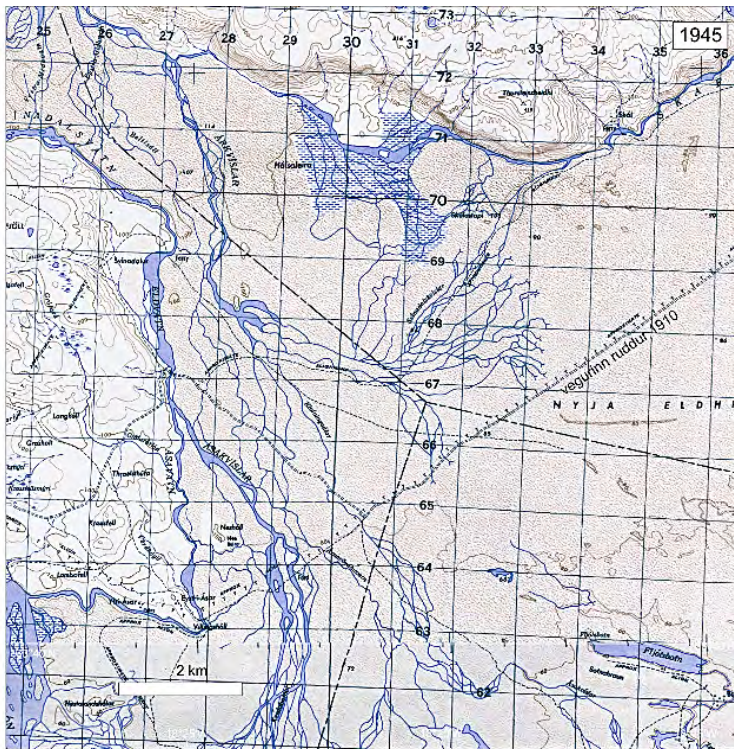
Það skiptir verulegu máli um áhrif hlaupanna að vatnið ber set og aur út fyrir venjubundinn farveg. Þar sem jarðlög eru gljúp hripar aurað vatnið niður og þéttir undirlagið smám saman. Einnig rjúfa hlaupin sanda og jökulruðning framan við jökul. Halli og lögun landsins sem áin flæðir um ásamt því hve hratt hlaupvatnið vex hefur mest áhrif á það hvort framburðurinn sest til eða hvort vatnsflaumurinn rýfur undirlagið og ber rofefni með sér niður eftir ánni (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018a). Á árabílinu 1995–2015 hafa farið um 5,5 milljón tonn árlega um mælistaðinn við Sveinstind. Upphleðslan við Fögrufjöll hefur verið um 2,2–2,4 milljónir tonna á árabílinu 2003–2013 (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018a). Upphleðslan hefur verið mishröð og hafa flóðin og framhlaup jökulsins talsverð áhrif þar á. Orsakir þessarar aukningar eru margvíslegar en aukning á rennsli, sérstaklega í jökulhlaupum, hefur þar væntanlega mest áhrif. Gífurleg breyting hefur orðið í Eldhrauni frá því að kortlagning á svæðinu hófst, eins og sést á mynd 12, og rakið hefur verið ítarlega (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018a ; Snorri Zóphóníasson, 2015a; Freysteinn Sigurðsson, 1977, Elín Fjóra Þórarinsdóttir o.fl. 2012; Elín Fjóra Þórarinsdóttir o.fl. 2008). Þær breytingar sem sjást í Eldhrauni samfara lækkandi grunnvatnsstöðu þar og þurrðum í Grenlæk eru flókið samspil náttúrulegra þátta og mannlegra athafna.



Mynd 11. Árlegur framburður svifaurs við Sveinstind (dökkbláar súlur) ásamt svifaursframburði í hlaupum þar sem sýni hafa verið tekin (rauðar súlur). Áætlaður hámarksframburðartoppur svifaurs í hlaupi 2015 (rauðstrikun súla). Mikil óvissa er um heildarmagn framburðar í hlaupinu 2015 sjá rauða og rauðstrikada súlu. Samantlagt vatnsmagn í hlaupum frá báðum kötlum er einnig merkt á grafið (gráir hringir) (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018b).

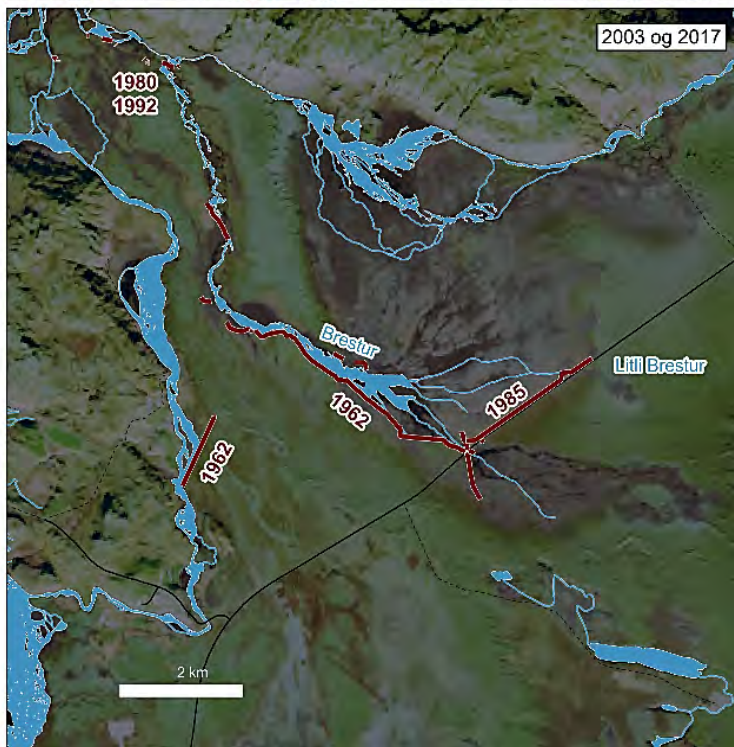
Náttúrulegu þættirnir eru m.a. stóru Skaftárhlaupin sem hófust í umtalsverðum mæli 1955, aukin rennsli Skaftár sem stafar af rýrnun og framhlaupum Skaftárjökuls og Síðujökuls, loftslagsbreytingar og þétting hraunsins vegna sandfoks og ösku. Mannlegar athafnir eru aðgerðir til þess að breyta rennislisleiðum og veita gruggugu jökulvatni á hraunin.

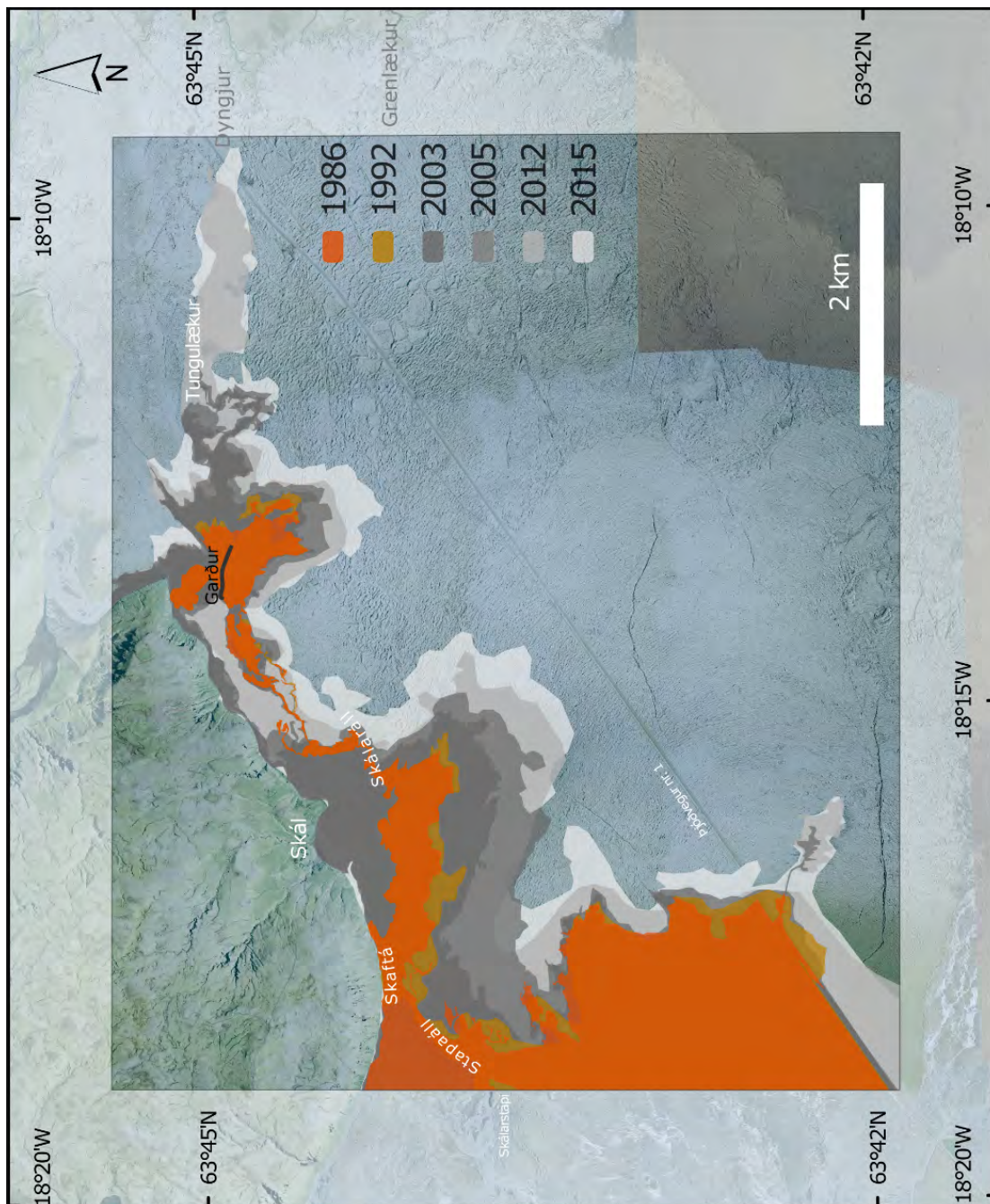
Miðað við fyrirliggjandi þekkingu eru hlaupin og veiting jökulvatns út á hraunið stærstu áhrifa-valdarnir í þessari þróun. Flóðvatnið sem berst ofan í hraunin í hlaupum er mjög gruggugt. Vel má marka það þegar vatnið brýtur sér leið fram á yfirborðið eftir nokkra vegalengd neðanjarðar, að það er enn talsvert leirborið (Esther Hlíðar Jensen, o.fl., 2018a). Áhrif þess þegar jökulvatn rennur út á hraun eru vel þekkt (Freysteinn Sigurðsson & Guttormur Sigbjarnarson, 1985; Haukur Tómasson, 1982; Haukur Tómasson o.fl. 1976). Gruggugt flóðvatn sem berst út á hraunið fyllir holrými og þéttir hraunið á endanum. Þegar hraunið tekur ekki við meiru rennur jökulvatnið á yfirborði og hraunið fyllist af sandi (Myndir 12 og 13). Þetta er sama þróun og varð í Landbrotshrauninu fyrir Skaftárelda og kemur óbeint fram í lýsingum Jóns Steingrímssonar (1973) og Sæmundar Hólm (1784). Þetta set hefur lagst yfir algróið land, eina stærstu gamburmosabreiðu í heimi sem hefur látið undan síga (Sveinn Runólfsson, 2015).



Mynd 12. Breyting á farvegum í Eldhrauni milli árána 1945 og 2017. Efri myndin sýnir kort frá U.S. Army Map Service, byggt á loftmyndum frá 1945. Á neðri myndinni frá Loftmyndum ehf. 2017 hefur vatninu verið beint í ákveðna farvegi.

Jökulvatnaset er aðeins sjáanlegt nyrst á kortinu en nær nú langt til suðurs og austur fyrir veg hjá Brestilangleiðina að Fljótsbotni. Rauðar línur á neðri myndinni sýna varnarmannvirki og hvaða ár þau voru byggð. (Esther Hlúðar Jensen o.fl., 2018a).





Mynd 13. Framrás sets á yfirborði Eldhrauns við Skálarál (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018a). Myndin sýnir hvernig setgeirarnir stækka með tímanum við endurtekin flóð. Loftmynd: Loftmyndir ehf.

2.7 Mengun af gasi upp við jökul í hlaupum

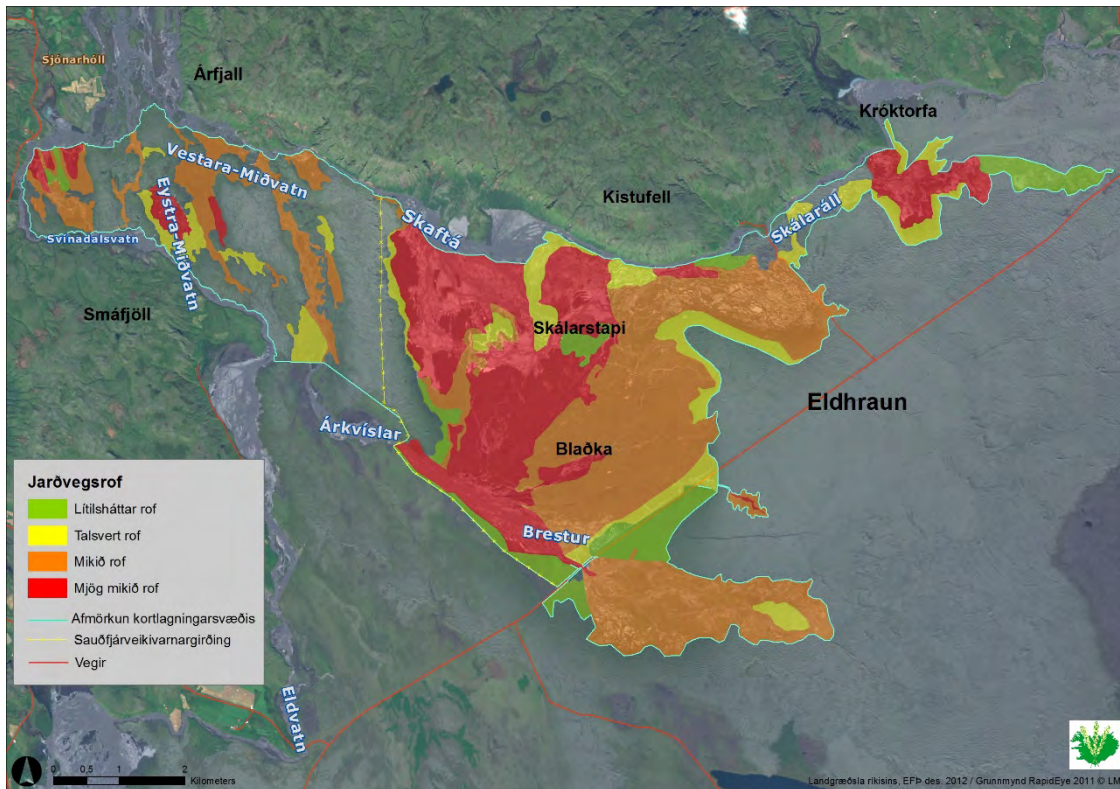
Í Skaftárhlaupum er mikil brennisteinsmengun í lofti nærri upptökum árinna og styrkur brennisteinsvetnis (H_2S) hefur mælst mjög hár við upptök Skaftár í hlaupum (Sigurður Reynir Gíslason o.fl., 2004). Fólki getur stafað hættu af þessu og hafa fjölmiðlar verið duglegir að upplýsa almenning um þessa hættu (Morgunblaðið, 2008; RÚV, 2015; Vísir, 2011). Þegar styrkur brennisteinsvetnis er lágur nemur lyktarskyn manna hann auðveldlega (jöklaflýla) en með vaxandi styrk hætta fólk að greina lyktina. Í kjölfarið sviður menn í augu og öndunarferi og við enn aukinn styrk geta afleiðingarnar orðið enn verri og jafnvel endað með dauða (Hermann Þórðarson, 2004). Hér er einungis átt við mengun af gasi við hefðbundin jökulhlaup. Hitt er annað að við gos hvort sem er undir jökli eða á svipuðum slóðum og Skaftáreldar 1783–1784 urðu gæti skapast veruleg ógn af gasi og gjósku (Thordarson & Self, 2003).

2.8 Gróðureyðing og uppfök

Áhrif framburðar í Skaftárhlaupum virðast bundin farvegi árinna fram að Skaftárdal. Ingibjörg Kaldal benti á, með vísun í rannsókn hennar og Elsu Vilmundardóttur, að áfokið milli Lakagíga út í hraunið sunnan Úlfarsdalsskerja sé ekki á nokkurn hátt tengt Skaftá. Þar væri eingöngu um að ræða gjósku frá Skaftáreldagosinu sem skolast hefur niður af skerjunum. Hún telur að áfök hafi sáralítið aukist þarna á þeim tæplega 40 árum sem athuginin nær yfir. Þá áréttar Ingibjörg að Skaftá hafi ekki runnið norðvestan Laka síðan í Lakagosinu sjálfu og geti því ekki verið orsök að foki þar (Ingibjörg Kaldal, 1998; Ingibjörg Kaldal & Elsa G. Vilmundardóttir, 2000).

Þegar komið er niður í Skaftárdal horfir málið öðruvísi við. Líkt og kemur fram í kafla 2.6 hefur aurinn úr Skaftá á síðustu 50 árum fyllt verulega í úfið Eldhraunið. Það hefur bæði gerst í sjálfum hlaupunum og í kjölfar þeirra þegar aurinn fýkur um (Elín Fjóra Þórarinsdóttir o.fl., 2012; Elín Fjóra Þórarinsdóttir o.fl., 2008; Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2011; Fanney Gísladóttir, 1997; Snorri Zóphóníasson & Svanur Pálsson, 1996; Snorri Zóphóníasson, 2015b; Svanur Pálsson o.fl., 2001; Sveinn Runólfsson, 2015). Allt Eldhraun ofan Hringveggar er á náttúru-minjaskrá. Landgræðslan vann árið 2012 úttekt á stöðu jarðvegsrofs í Eldhrauni norðan hringveggar. Kortlagning nær yfir nyrsta hluta Eldhraunsins, frá Hvammi og austur fyrir Króktorfu, sjá mynd 14. Heildarstærð kortlagða svæðisins í Eldhrauni var 4.378 ha. Þar kemur fram að gróðureyðing af völdum Skaftárhlaupa og áveituf framkvæmda á afrétti og í Eldhrauni er veruleg. Á stærstum hluta þess svæðis sem kortlagt var í Eldhrauni eða á um 2.500 ha er gróðurþekjan minni en 33% og um 540 ha til viðbótar teljast einungis vera hálfgrónir (Elín Fjóra Þórarinsdóttir o.fl., 2012).

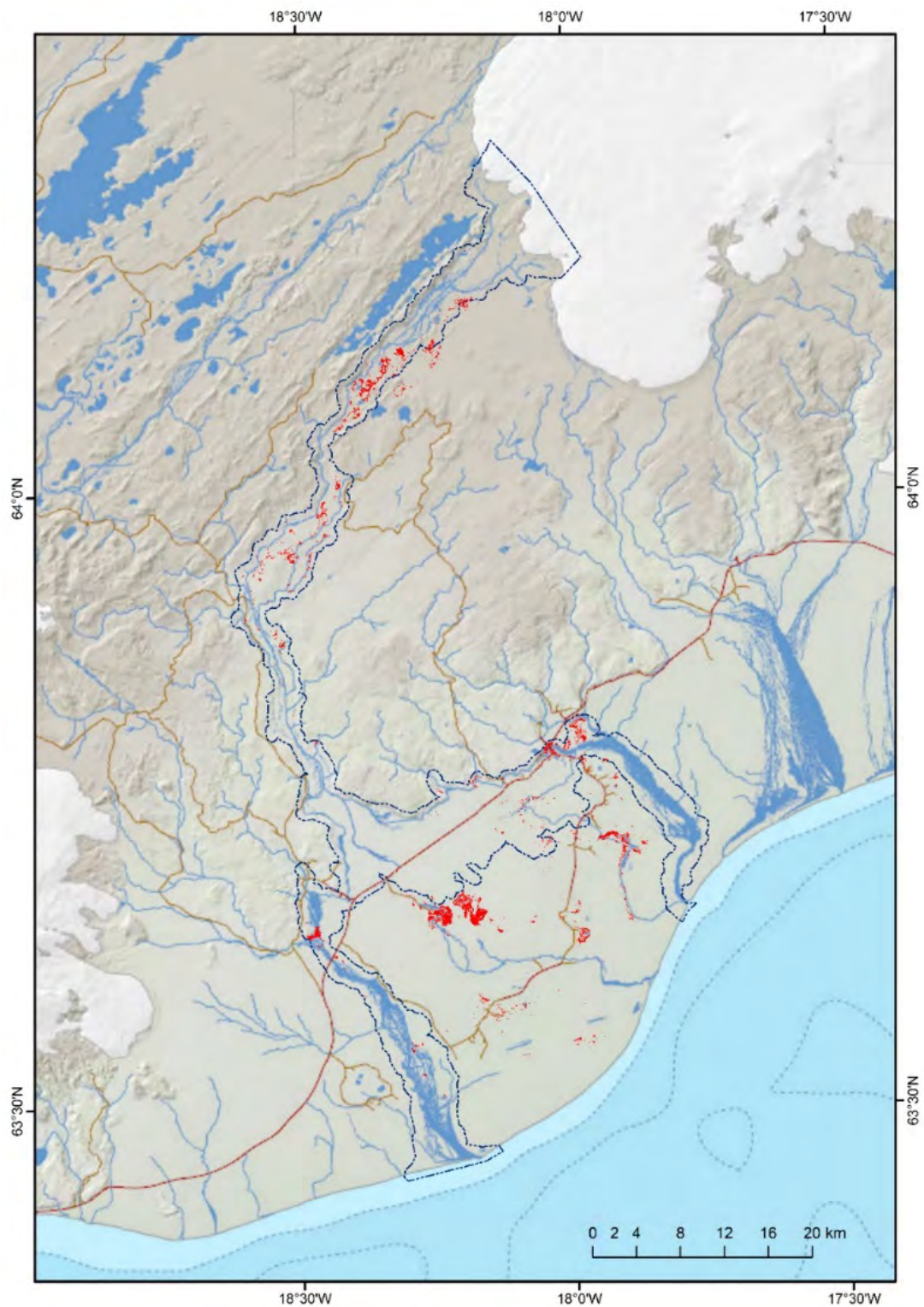
Landgræðslan telur þetta vera langumfangsmestu gróðureyðingu á landinu á síðustu áratugum (Sveinn Runólfsson, 2015). Ekkert bendir til að þessi þróun breytist því auk þess gífurlega magns af sandi og leir sem nú er á svæðinu þá bætist sífellt meira við með framburði Skaftár. Magn fokefna inn á hraununum eykst því eftir því sem Skaftá hleður meira undir sig og flæmist lengra inn á hraunin.



Mynd 14. Jarðvegsrof í Eldhrauni árið 2012 (Elín Fjóla Þórarinsdóttir o.fl., 2012).

Á mynd 15 má sjá samanburð sem byggist á greiningu gervitunglamyndar á gróðurskemmdum eftir Skaftárhlaupið 2015. Myndin sýnir aðeins þau svæði þar sem set hefur lagst yfir gróður og afmarkast við svæði sem voru undir sandi eða vatni þegar myndin sem greiningin byggist á var tekin. Greiningaraðferðin er takmörkuð við þann þátt en nemur ekki skemmdir þar sem set og lítill gróður var fyrir. Þá er ekki unnt að meta varanlegar skemmdir út frá henni en með því að endurtaka greininguna með nýrri myndum mætti meta hvort ummerki hlaups eru enn til staðar. Það verður að vekja sérstaka athygli á að flóðvatnið rann ekki á yfirborði að svæðunum við Meðalland og Landbrot sem sýnd eru á myndinni. Hins vegar steig þar upp grunnvatn sem innihélt merkjanlegt magn af aur (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018b).

Fyrir hlaupið á ágúst 2018 mátti sjá að sum þessara svæða voru farin að gróa upp, jafnvel á hálandinu þar sem þykkur sandur hafði sest til. Sáning Landgræðslunnar frá árinu 2016 var farin að skila sér.



Mynd 15. Samanburðargreining á hvar set hefur lagst yfir gróður eftir Skaftárhlauptungum 2015. Byggt á gervitunglamyndum. Bláu punktalínurnar sýna útlínur flóðsins. Rauðu svæðin sýna hvar gróður varð fyrir áhrifum hlaupvatn, sjá nánar í texta. (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018b). Kortagrunnur: Landmælingar Íslands.



Mynd 16. Þjóðvegur 1. Rykmistur yfir Eldhrauni 2. maí 2016 (RÚV, 2016b).

2.9 Áhrif á samfélag í Skaftárhreppi

Við vinnslu verkefnisins var leitað eftir viðhorfi heimamanna til hlaupanna og áhrifa af þeim. Niðurstöðurnar eru settar fram í Viðauka I. Uppfok, landeyðing, setframburður og áhrif þess á árfarvegi eru fylgifyiskar Skaftárhlaupa og hafa hvað mest áhrif á sveitarfélagið. Einnig ber að nefna rykmengun, sem kemur í kjölfar þess að setframburður þornar, dregur verulega úr loftgæðum og hindrar sýn. Slíkt hefur mjög neikvæð áhrif á íbúa og vegfarendur, (sjá t.d. Morgunblaðið, 1996, 2005; RÚV, 2016a, 2016b). Á mynd 16 má sjá hvernig mistur lagðist yfir veginn löngu eftir flóðið 2015 og dró úr sýn ökumanna og hafði áhrif á loftgæði.

Í skipulagsáætlun sveitarfélagsins er tekið á þessum áskorunum en þar kemur m.a. fram að gert er ráð fyrir að hefðbundinn búskapur þróist í sátt við umhverfi sitt (Skaftárhreppur, 2011). Enn fremur er gert ráð fyrir fjölbreyttri ræktun í ýmsum greinum landbúnaðar, bæði hefðbundnum sem og í ræktun grænmetis og garðávaxta. Fjöldmörg landgræðslusvæði eru í Skaftárhreppi en mismikið er unnið að uppgræðslu á þeim. Aðgerðir af hálfu Landgræðslunnar og Landgræðslufélags Skaftárhrepps hafa verið mestar og brýnastar á svæðum þar sem jökulhlaup eru tíð. Í skipulagsáætluninni er nefnt að viðhalda skuli varnargörðum í Landbroti, við Kúðafljót og við Leirá, en Leirá hefur skemmt uppgrædd svæði síðast um 2009–2010. Þá eru uppi hugmyndir um að verja Heiðarrétt með bakkavörn.

3 Sviðsmyndir og niðurstöður hermana

Til þess að átta sig á áhrifum hlaupa af mismunandi stærðum hafa verið settar upp tvær sviðsmyndir með aðstoð reiknilíkans. Fyrsta skrefið í þessari vinnu var að herma flóðið frá 2015 og stilla líkanið þannig að niðurstöður hermana fyrir rennsli, útbreiðslu og vatnshæð yrði sem nákvæmast borið saman við mælingar (Matthías Ásgeir Jónsson o.fl., 2018). Þetta var nauðsynlegur þáttur í því að gera reiknilíkanið klárt fyrir hermanir á tveimur sviðsmyndum stærri flóða. Markmiðið var að kanna áhrif Skaftárhlaupa sem væru stærri en þau hlaup sem hafa mælst fram til þessa, þ.e. umfang slíkra hlaupa, rennsli þeirra og vatnshæð ef slík hlaup verða í framtíðinni.

3.1 Val á sviðsmyndum

Við val á sviðsmyndum var horft til þess annars vegar hvað gæti verið mesta rennsli sem líklegt væri að gæti komið í hlaupi og hins vegar til eins konar öfgaatburðar sem væri ólíklegur en þó hugsanlegur:

- Hámarksrennsli 4500 m³/s nemur 50% aukningu miðað við stærðarmatið á hlaupinu haustið 2015. Þetta er talinn raunhæfur en fremur ólíklegur möguleiki ef hlaupin fara vaxandi á næstu árum og áratugum. Þessi sviðsmynd getur líka náð til þess þegar vatn tæmist úr báðum kötlunum samtímis, eins og varð í hlaupinu í ágúst 2018.
- Hámarksrennsli 6000 m³/s nemur 100% aukningu (tvöföldun) miðað við stærðarmat hlaupsins haustið 2015. Þetta er talinn ólíklegur en hugsanlegur möguleiki og settur fram hér til að gefa hugmynd um hugsanlegar afleiðingar aftakahlaups ef þróunin verður á versta veg.

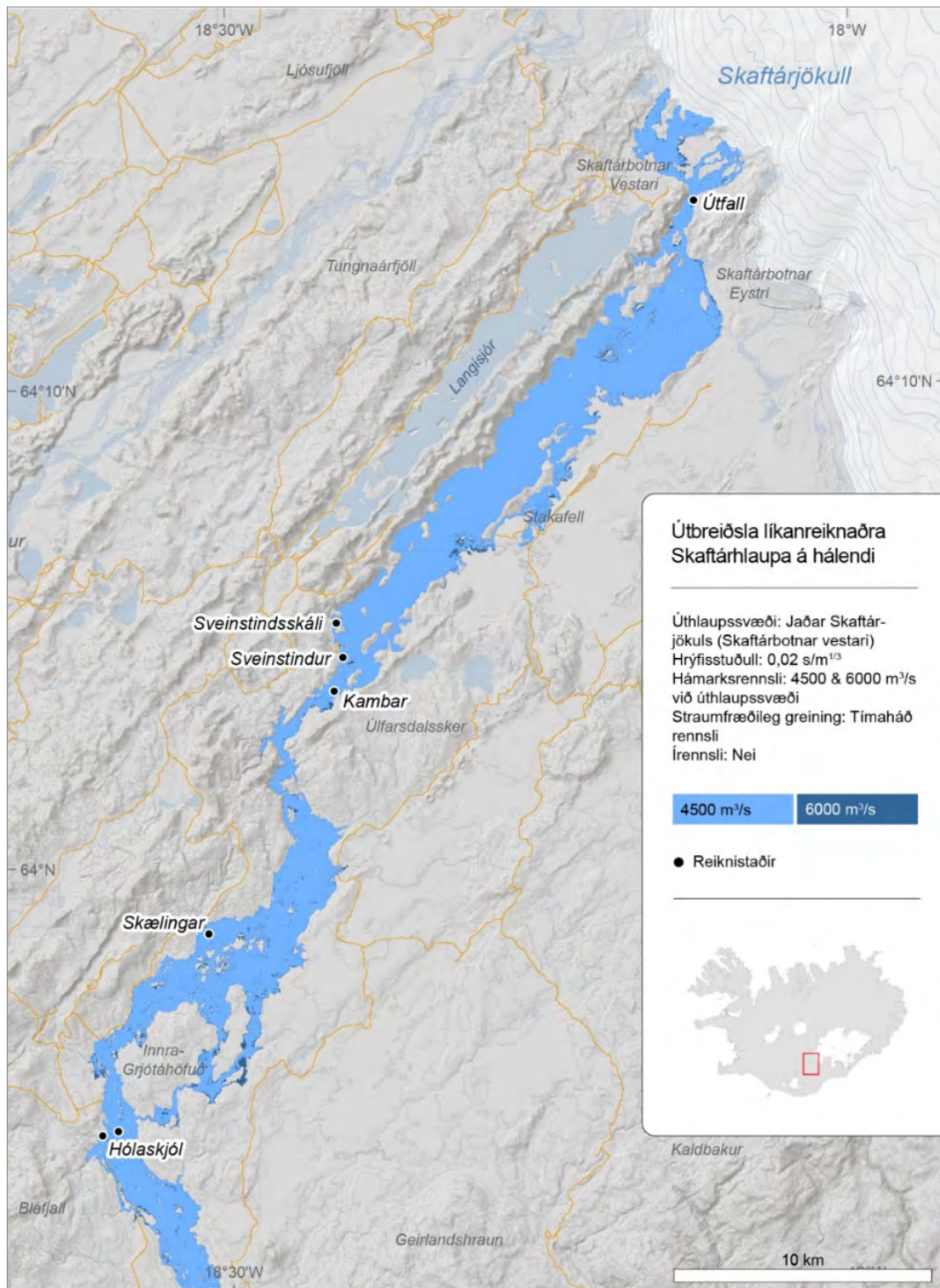
Í hermuninni var gengið út frá því að hlaupvatnið kæmi allt fram í Skaftá með sama hætti og var í hlaupinu 2015, þ.e. útrás við Skaftárbotna vestari (Emmanuel Pagneux o.fl., 2018b).

3.2 Útbreiðsla og vatnshæð

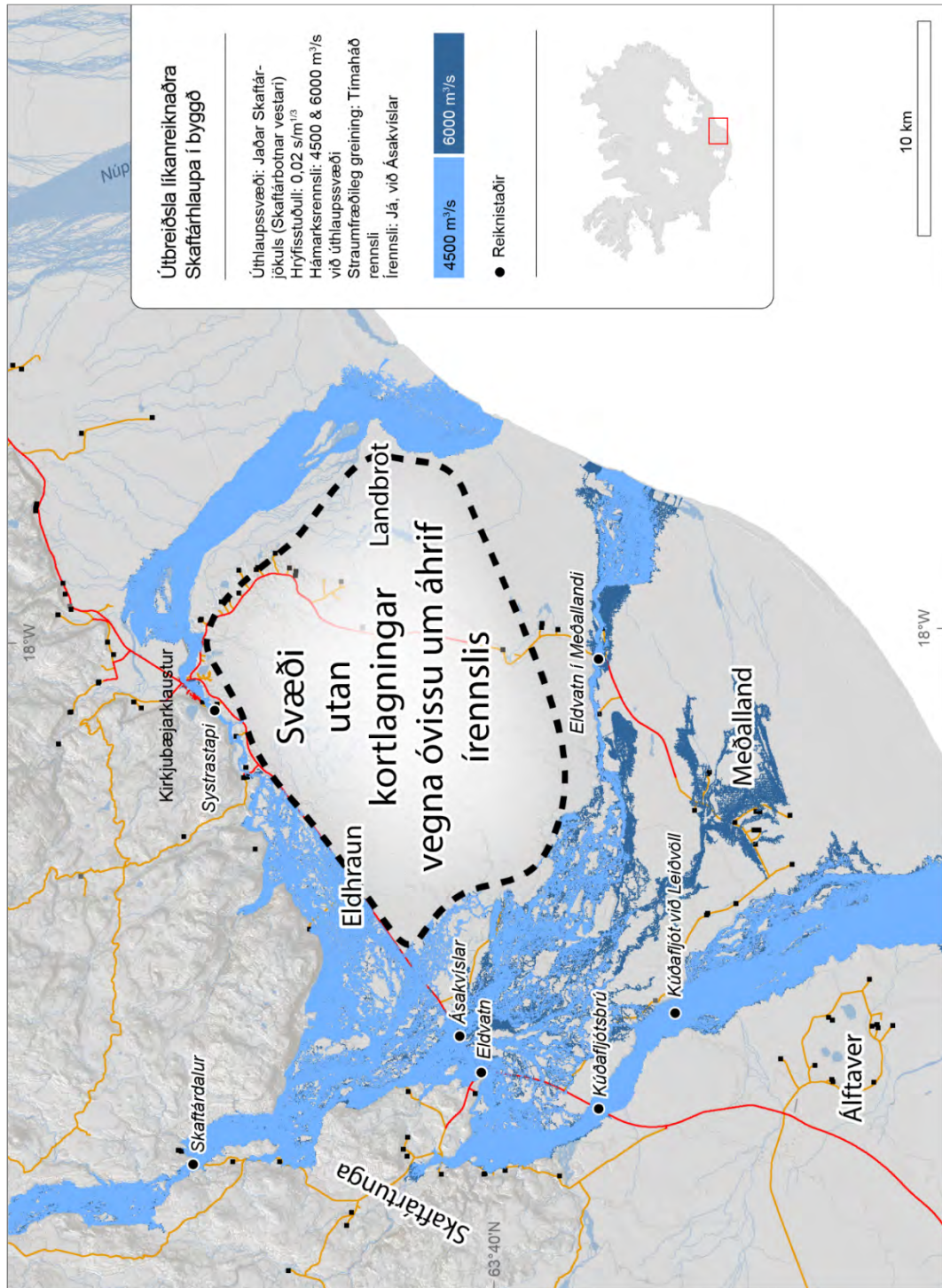
Landslag þar sem farvegur Skaftár liggur ofan Skaftárdals er með þeim hætti að aukið hámarksrennsli hefur smávægileg áhrif á útbreiðslu hlaupa á hálendinu (Mynd 17).

Líkanreikningarnir byggja á landlíkani sem vitað er að er ekki sérlega nákvæmt, einkum í grennd við Kirkjubæjarklaustur. Með fyrirvara um óvissu í líkaninu eru niðurstöður reikninganna eftirfarandi: Langstærsti hluti flóðvatns sem berst niður í Skaftárdal fer eftir farvegum Eldvatns og Ásakvísla. Við meira rennsli rennur hlaupvatn yfir varnargarð sem reistur var árið 1962 til að beina Ásakvíslum vestur í Eldvatn og talsverður hluti þess rennur yfir þjóðvegarkafli í farvegi Ásakvísla (Mynd 18).

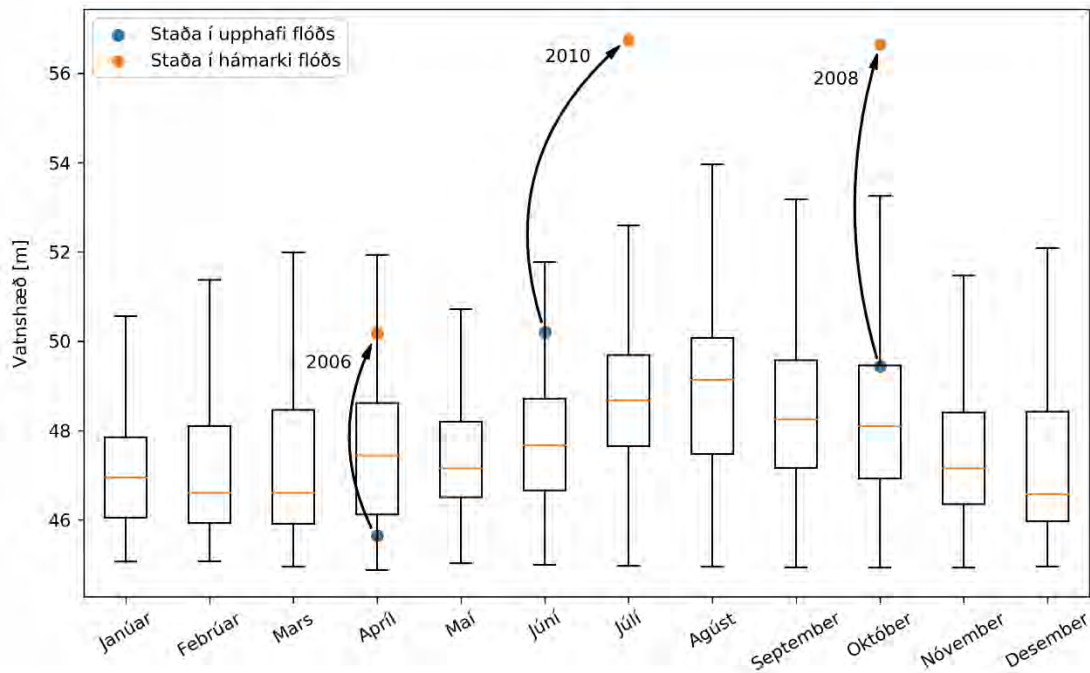
Samkvæmt reikningunum eru hvorki Flögun og Kúðafljót eða Skaftá við Kirkjubæjarklaustur sérlega viðkvæm fyrir auknu hámarksrennsli. Frá Eldvatni við Ása og Ásakvíslum rennur flóðvatn annars vegar til Flögun og þaðan til Kúðafljóts en hins vegar til Eldvatns í Meðallandi og þaðan til sjávar. Við stærri sviðsmyndina leitar flóðvatn líka í farvegi Höfðakvíslar og flæðir þaðan yfir Meðallandsveginn nálægt Langholti. Í byggð breiðist vatn helst út í Meðalland. Vatnshæð við Flögun verður litlu meiri en var í hlaupinu haustið 2015. Sama gildir um Skaftá við Skál og Klaustur.



Mynd 17. Frá útfalli hlaups við jökuljaðar (Emmanuel Pagneux o.fl., 2018b). Við aukið rennsli vex útbreiðsla flóðsins aðallega við mót Skaftár og Skaftáreldhrauns, nálægt Stakafelli, og í farvegi Grjótár austanmegin við Innra-Grjótárhöfuð. Kortargrunnur: Landmælingar Íslands.



Mynd 18. Útbreiðsla hlaupvatns í byggð (Emmanuel Pagneux o.fl., 2018b). Gert er ráð fyrir írennsli í nágrenni Ásakvísla. Stækkun útbreiðslusvæðis milli sviðsmyndanna verður að mestu við Meðalland. Ekki var unnt að meta útbreiðslu hlaups á Eldhrauni, sunnanmegin við Þjóðveginn, í Tungulæk og Grenlæk þar sem írennslið er háð grunnvatnsstöðu og hve mikið fyrri hlaup hafa fyllt hraunið. Kortagrunnur: Landmælingar Íslands.

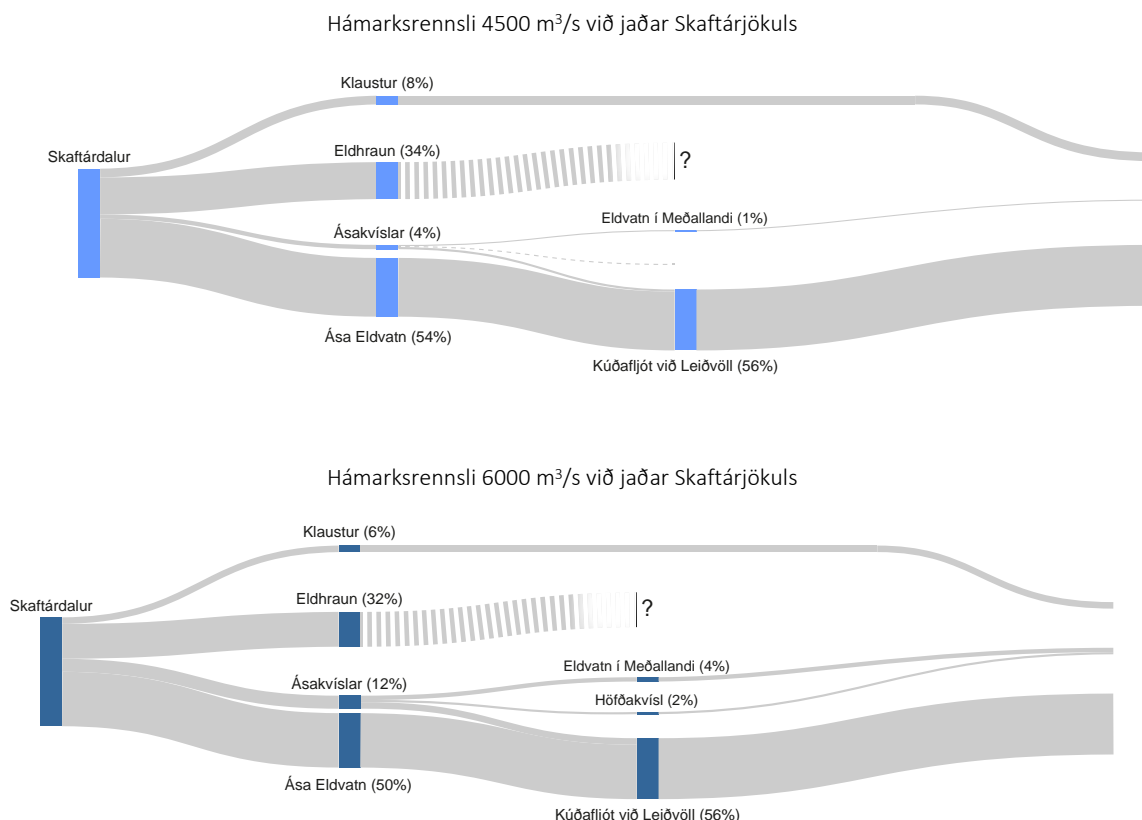


Mynd 19. Áhrif flóða á grunnvatnsstöðu í Eldhrauni (Matthías Ásgeir Jónsson o.fl., 2018). Helmingur mælinga hvers mánaðar í borholu SK-7er innan hvítu kassanna. Appelsínugul lína sýnir miðgildi og 99,3% gagna er innan svörtu bilanna. Hlaupið 2010 varð á mánaðarmótum júní–júlí.

Búast má við talsverðri hækkun vatnsborðs á þeim svæðum þar sem flóðvatn rennur í afmörkuðum farvegi, en þegar kemur í Eldhraunið verður flatlendara sem gerir það að verkum að vatnsborð hækkar minna (Mynd 18). Mikil óvissa er um magn vatns sem hripar niður í Eldhraun sem írennsli, eða rennur fram yfir hraunið. Fyrri hlaup og áveitur hafa þétt yfirborð hraunanna og fyllt í holur og glufur sem í þeim eru. Grunnvatnsstaðan á þeim tíma sem flóðið verður, ásamt yfirborðsþéttingu og grophlutfall (holrýmd) hraunanna, mun ráða mestu um írennslið. Vatnsborð var síritað í nokkrum borholum í Eldhrauni yfir árabilið 2000–2014. Mynd 19 sýnir áhrif flóða á grunnvatnsstöðu í einni borholu (SK-7) sem er í Eldhrauni. Verði flóð við lága grunnvatnsstöðu hripar mikið niður í hraunið af eðjubornu vatni. Sé grunnvatnsstaðan á hinn bóginn há svo að hraunið geti ekki tekið við meira vatni berst flóðvatnið lengra fram og farmburðurinn leggst á yfirborð hraunsins.

Dreifing hlaupvatns er svipuð milli sviðsmyndanna (Mynd 20) en þegar nánar er skoðað má sjá að hlutfall hlaupvatns fer hækkandi í farvegi Ásakvísla við meira rennsli á kostnað vatnsmagns við Ása-Eldvatn, í Eldhrauni og í Skaftá við Systrastapa. Ástand í Kúðafljóti er óbreytt milli sviðsmyndanna þar sem hlutfall vatnsmagns úr Ásakvísllum til Eldvatns í Meðallandi og Höfðakvíslar eykst með vaxandi rennsli.

Ekki er unnt að herma ferðatíma flóðsins nákvæmlega með þeim aðferðum sem notaðar voru en þar sem gott samræmi er milli ferðatíma í töflu 1 og 2 er líklegt að ferðatíminn verði svipaður og þar kemur fram.



Mynd 20. Hlutfallsleg dreifing hlaupvatns sem rennur fram neðan mælis við Skaftárdal við mismunandi sviðsmyndir. Gert er ráð fyrir írennsli í nágrenni Ásakvísla. (Emmanuel Pagneux o.fl., 2018b).

3.3 Afleiðingar flóðs af stærðargráðunni 6000 m³/s

3.3.1 Tjónmætti flóðvatns

Þegar metnar eru líkur á skemmdum vegna flóða er horft til þess hvort straumhraði eða vatnsdýpi verði umfram það sem líklegt er að mannvirkin þoli eða lífi sé ógnað. Tjónmætti byggist á stærð, afli og krafti flóðs og hversu mikil líkindi eru á því að það eigi sér stað, óháð því hvort byggð eða mannvirki séu til staðar. Tjónmætti getur verið háð tilvist varnarvirkja, t.d. varnargarða sem bægja flóðum frá byggð (Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., 2016).

Í verkefninu var notaður fjögurra stiga kvarði Emmanuel Pagneux og Matthew J. Roberts (2015) til að meta tjónmætti. Kvarðinn greinist í stig hættu á grundvelli margfeldis dýpis og straumhraða (Tafla 3), eins og algengt er að nota við greiningu á tjónmætti. Vel er unnt að nota aðra mælistika en straumhraða og vatnsdýpi við mat á tjónmætti, svo sem hættu á skaða vegna reks, braks, eðjustrauma eða vatnshita. Þar sem talið var að fæstir þeirra eigi við í Skaftárhlaupum og auk þess sem þeir eru ekki notaðar í líkaninu var ákveðið að nota eingöngu straumhraða og vatnsdýpi við matið.

Tafla 3. Kvarði yfir tjónmætti jökulhlaupa. Kvarðanum er skipt upp í fjögur stig: lítil hættu, hófleg hættu, mikil hættu og geysimikil hættu (Pagneux & Roberts, 2015).

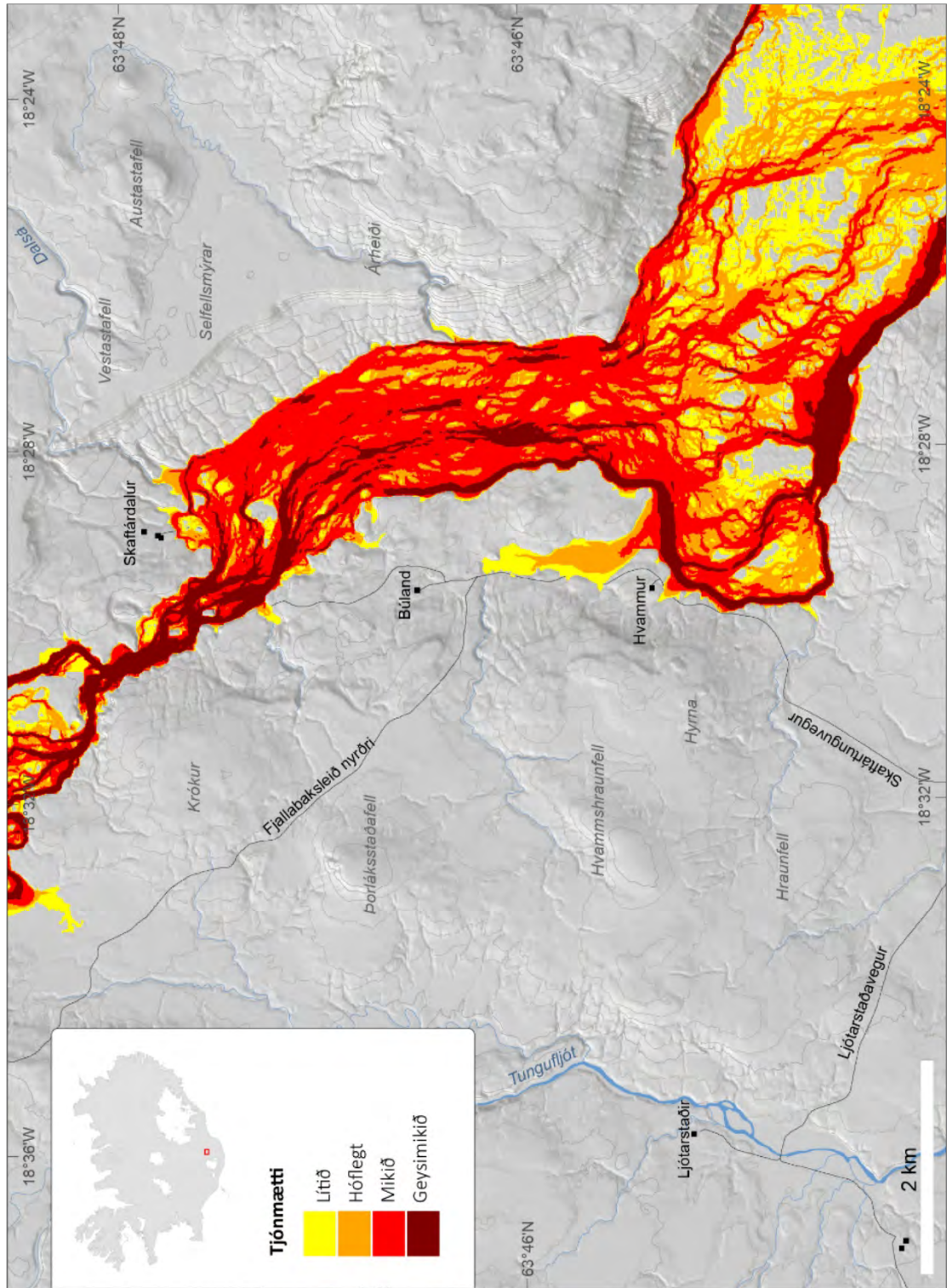
Hættu	Margfeldi dýpis og straumhraða (m ² /s)	Tjón á byggingum	Manntjón
Lítil	<0,25	Að mestu bundið við tjón á innbúi og húsgögnum	Slys eða dauðsföll ólíkleg
Hófleg	0,25–1,3	Byggingar standast flóð en reikna má með nokkrum skemmdum	Hættu fyrir börn og eldra fólk, bæði inni í byggingum og utan þeirra
Mikil	>1,3	Eyðilegging léttbyggðra bygginga	Allir sem verða fyrir flóðinu eru í lífshættu, bæði inni í húsum og utandyra
Geysimikil	≥7	Alger eyðilegging allra húsa nema þeirra sem eru sérstaklega styrkt. Steinsteyppt, járnþent húskemmast að því marki að þau eru ónýtt eftir.	Allir sem verða fyrir flóðinu eru í lífshættu, bæði inni í húsum og utandyra

Upplýsingar um tjónmætti byggja á niðurstöðum stærri sviðsmyndarinnar, með hámarksrennslið 6000 m³/s. Þann almenna fyrirvara verður að hafa að ályktanirnar eru byggðar á líkanreikningum. Líkanið hermir ekki rof og við flóð af þessari stærð er hugsanlegt að flóðið brjóti fyrirstöður og vatnið finni sér nýja farvegi. Þetta á einkanlega við þegar komið er niður í Eldhraun. Nánari umfjöllun um einstaka staði er að finna í Emmanuel Pagneux o.fl. (2018b). Niðurstöður benda til að búast megi við skemmdum á vegaköflum á Fjallabaksleið og að flæði inn í skálana við Hólaskjól en bústaðir efst í Skaftárdal séu ekki í hættu (Mynd 21).

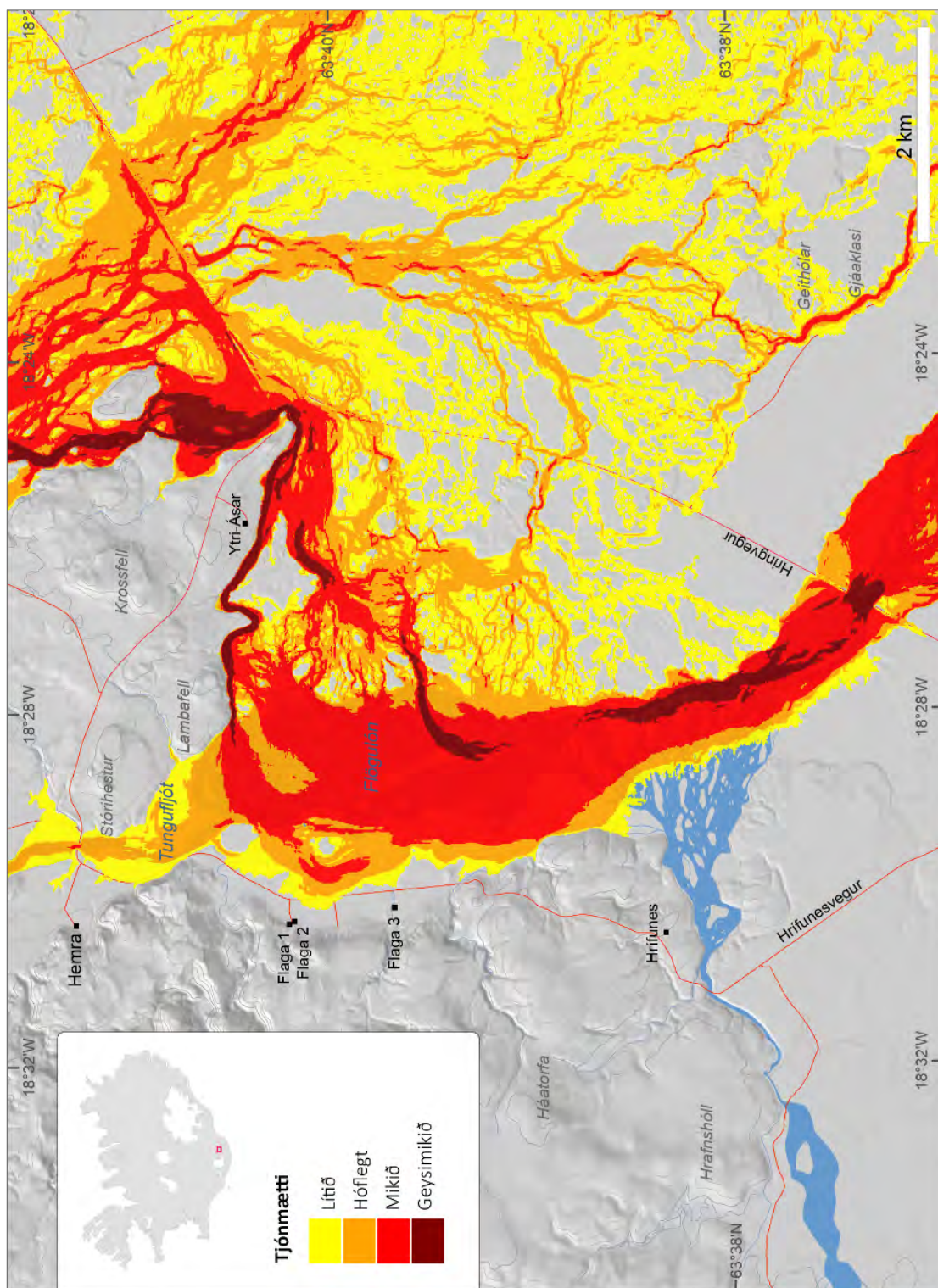
Byggð við Flögulón er ekki í hættu samkvæmt þessu. Mesta dýpt flóða yfir Hrífunesvegi, mæld milli Flögu 1–2 og Flögu 3, er metin um 1,2 m. Tjónmætti á þessum stöðum er metið lítið (Mynd 22). Við Skál verða einungis útihús fyrir flóðum og tjónmætti þar er metið lítið.

Við Botna, Höfðakvísl og Eldvatn í Meðallandi munu byggðir einangrast í hlaupum. Vatnsdýpt yfir grónu landi og Meðallandsvegi verður innan við 25 cm. Á þessum stöðum er tjónmætti metið lítið (Mynd 23) með þeim fyrirvara að ekkert rof verði á þjóðveginum í farvegi Ásakvísla.

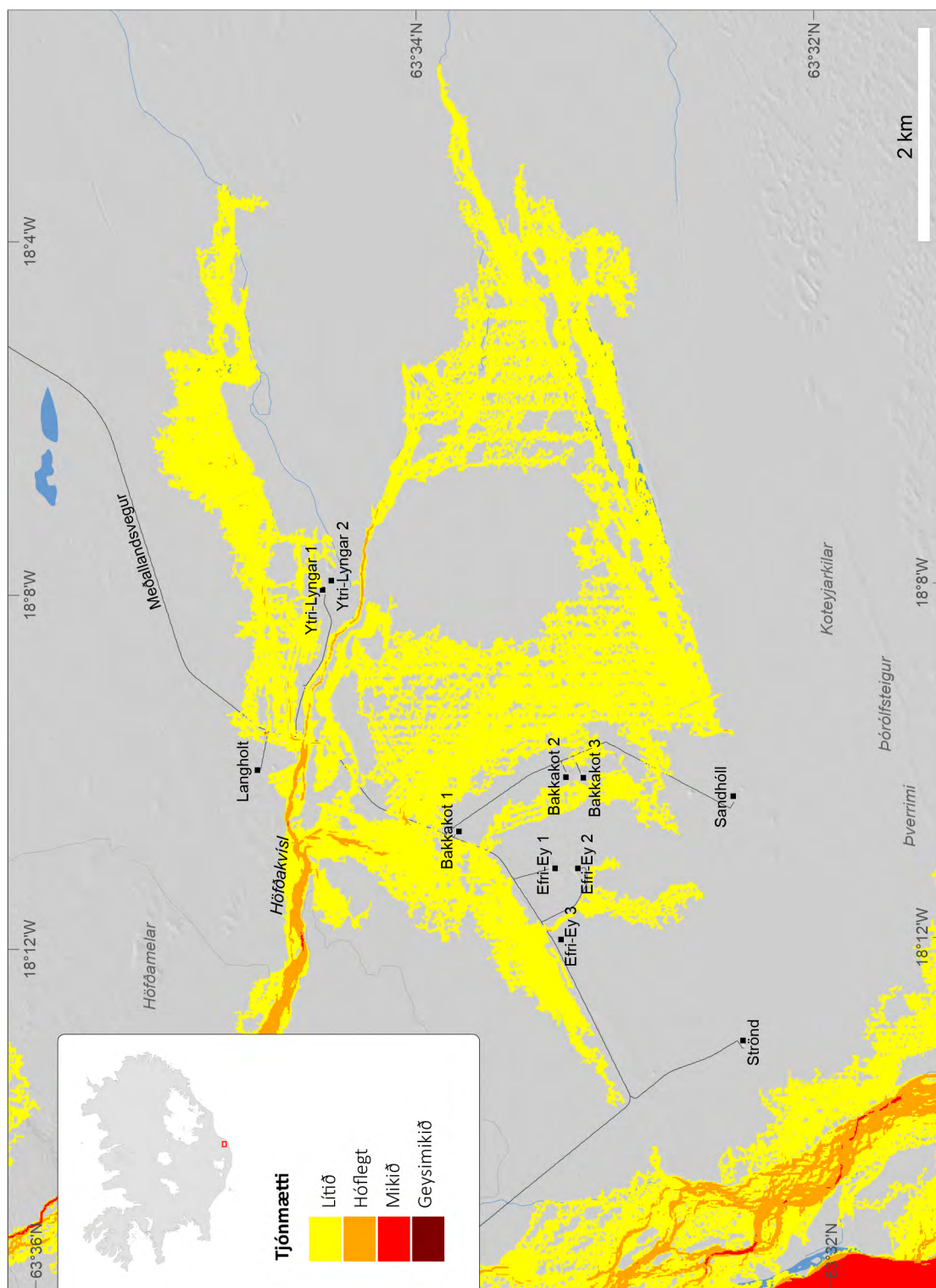
Kirkjubæjarklaustur er ekki í hættu miðað við þær forsendur sem gengið er út frá og er tjónmættið metið lítið (Mynd 24). Hins vegar verður að hafa fyrirvara á þessari ályktun, í ljósi þess að á Klaustri er mannmörg byggð. Sem dæmi um marga óvissuþætti er að líkanreikningarnir taka ekki til þess sem myndi gerast ef rof yrði á berghöftum eða öðrum fyrirstöðum sem nú tefja rennsli um farveg Skaftár við Klaustur. Ef það gerist getur straumþunginn í átt til Klausturs aukist verulega. Eins má nefna að farvegur Skaftár neðan Skálar er mjög þröngur og upplausn landlíkansins er ekki nægilega góð til að unnt sé að líkja þar eftir flóðinu með öruggum hætti. Loks getur setframburður sem áin hleður undir sig í aftakahlaupi breytt rennislisleiðum í Eldhrauni.



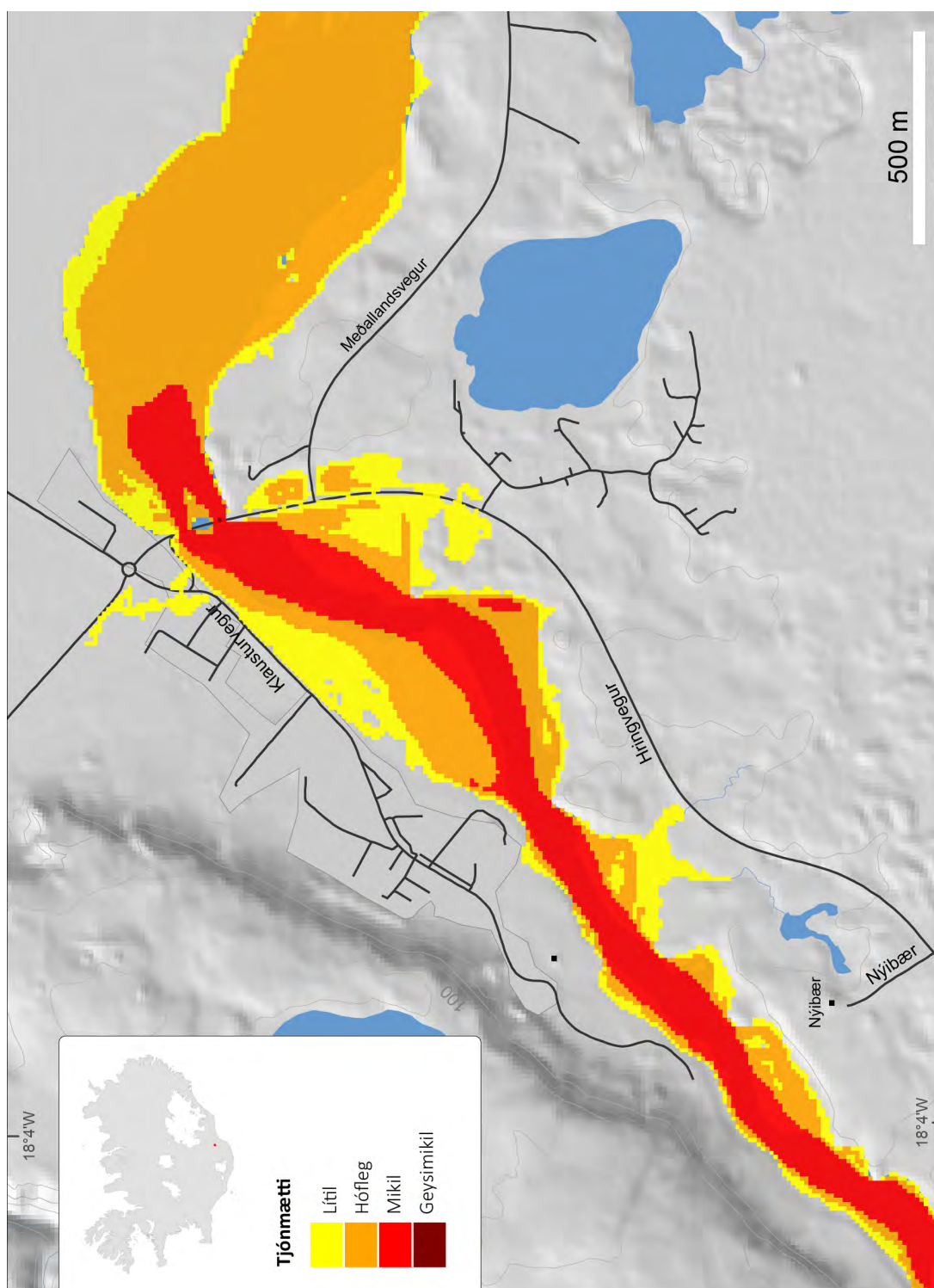
Mynd 21. Tjónmætti hlaupa við Skaftárdal (Emmanuel Pagneux o.fl., 2018b). Kvarðinn afmarkast við mat á vatnsdýpi og vatnshraða. Upplýsingar byggja á niðurstöðum sviðsmyndar við 6000 m³/s rennsli. Kortagrunnur: Landmælingar Íslands.



Mynd 22. Tjónmætti hlaupa við Flögulón, byggt á niðurstöðum líkanareikninga sviðsmyndar við 6000 m³/s rennsli (Emmanuel Pagneux o.fl., 2018b). Kvarðinn afmarkast við mat á vatnsdýpi og vatnshraða. Kortagrunnur: Landmælingar Íslands.



Mynd 23. Tjónmætti hlaupa við Meðalland, með þeim fyrirvara að ekkert rof verði á þjóðveginum í farvegi Ásakvísla (Emmanuel Pagneux o.fl., 2018b). Upplýsingar byggja á niðurstöðum sviðsmyndar með hámarksrennsli 6000 m³/s. Kvarðinn byggist á mati á vatnsdýpi og vatnshraða. Kortagrunnur: Landmælingar Íslands.



Mynd 24. Tjónmætti hlaupa við Kirkjubæjarklaustur, byggt á niðurstöðum líkanreiknaðrar sviðsmyndar við 6000 m³/s rennsli (Emmanuel Pagneux o.fl., 2018b). Rauði liturinn sem merktur er á myndinni gefur til kynna mikið vatnsdýpi og/eða mikinn vatnshraða en hefur ekki beina tilvísun í skaða á mannvirkjum. Kortagrunnur: Landmælingar Íslands.

3.3.2 Setframburður

Hermun fyrir sviðsmyndirnar tvær náði ekki til setframburðar. Í flóðinu 2015, sem stóð í um fjóra daga, er talið að 8,6–14,1 milljónir tonna af svifaur hafi borist fram (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018b). Það er því 1,5–2 sinnum meira en meðalársframburður Skaftár, sjá kafla 2.6. Mestur hluti hans sest til í hrauninu ofan Skaftárdals. Fyrir sviðsmyndir með 50–100% meira rennsli má búast við veldisvexti í framburði, bæði fingurðum svifaur upprunnum í flóðinu sjálfu en einnig grófum framburði sem hlaupið tekur úr farvegi Skaftár. Stór hluti þessa framburðar mun berast út fyrir meginfarveg Skaftár og setjast þar til. Miðað við sviðsmyndirnar má búast við talsverðri aukningu í vatnshæð og framburði ofan Skaftárdals þar sem flóðvatn rennur mikið til í afmörkuðum farvegi, en þegar kemur í Eldhraunið verður flatlandara sem gerir það að verkum að straumhraðinn minnkar. Eins og áður var nefnt er mikil óvissa um hvernig skiptingin verði milli vatns sem hripar niður í Eldhraun sem írennsli og hve mikið myndi renna fram yfir hraunið.

3.4 Helstu óvissuþættir um niðurstöður hermananna

Þær sviðsmyndir sem hér hafa verið settar fram gefa nokkuð skýra hugmynd um afleiðingar jökulhlaupa í Skaftá sem eru stærri en hlaupið haustið 2015.

Eru það einkum sex atriði sem horfa verður til.

- Líkanið gerir ráð fyrir því að útfall hlaupsins við jökuljaðar verði á svipuðum slóðum og var haustið 2015 og vatnsritið, þ.e. hvernig rennslið breytist með tíma, verði svipað og þá. Verði breyting á þessu þannig að vatnið brjótist út austar eða vestar mun flóðvatnið færast yfir á vatnasvið Hverfisfljóts eða Tungnaár.
- Það eru ekki til mælingar á rennslinu fyrir en við Sveinstind sem er 20 km neðar í farveginum en þar sem vatnið brýst út við Ísröndina. Á þessari leið hefur rennslið jafnast út og dregið úr rennslistoppnum.
- Líkanið gerir ráð fyrir til þess að gera tæru vatni. Hins vegar er ljóst að við hlaup af þeirri stærð sem miðað er við mun framburður verða mjög mikill og gæti orsakað rof í meginfarvegum þar sem halli er mestur.
- Vitað er að landlíkanið við Klaustur er ófullkomið og þar er því umtalsverð óvissa eins og rakið er í kafla 3.3.1.
- Við Botna, Höfðakvísl og Eldvatn í Meðallandi hefur tjónmætti verið metið lítið með þeim fyrirvara að ekkert rof verði á þjóðveginum í farvegi Ásakvísla. Á þessum stöðum gæti tjónmætti orðið töluvert ef haft rofnar og grefur úr farveginum eins og gerðist í hlaupinu 2015. Verði slíkt rof þar eða annars staðar í farveginum getur vatn runnið fram á öðrum stöðum en kemur fram í hermununum.
- Vitað er að mikið írennsli getur orðið þegar flóðvatnið berst ofan í Eldhraun í Skaftárdal. Umfang írennslis fer t.d. eftir stærð flóðsins, hve há grunnvatnsstaðan er í hrauninu við upphaf flóðsins og hvort set úr fyrri hlaupum hafi lagst á yfirborð hraunsins eða fyllt holrými þess. Einnig skiptir máli hve lengi flóðið stendur eins og varð raunin í hlaupinu 2018. Sé grunnvatnsstaðan óvenju há og hraunið mjög setfyllt getur flóðvatnið borist mun lengra eftir hrauninu og fundið sér aðra leið en gert er ráð fyrir.

- Mesta óvissan liggur í breytilegri jarðhitavirkni undir Skaftárkötulunum. Það á bæði við um afl og uppstreymissvæði jarðhitans. Mikilvægt er að áréttu að breytist þær forsendur sem sviðsmyndirnar byggja á geta aðstæður gjörbreyst.

Rannsóknir á þróun Skaftárkatla á undangengnum 80 árum (Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., 2018) hafa leitt í ljós að stórfelldar breytingar og aukning í stærð og umfangi hafa orðið á jarðhitasvæðunum undir kötlunum. Fram kemur í kafla 2.3 að Eystri-Skaftárketill var miklu minni um og fyrir miðja 20. öld. Þvermál hans var aðeins 1 km um 1940 en hefur vaxið í skrefum síðan þá. Rannsókn á loftmyndum og flugmyndum leiðir einnig í ljós að vestari ketillinn var ekki til á árunum 1945–1946. Hann kemur fyrst fram á loftmyndum 1960. Af þessu leiðir að rúmtak eystri ketilsins var miklu minna fyrir 1955 en síðar hefur orðið og vestari ketilsins fer varla að gæta sem upptaka Skaftárhlaupa fyrr en um eða eftir 1960. Samanlagt jarðhitaafli katlanna hefur vaxið verulega á sama tímabili. Sennilegt er að um 1940 hafi afl jarðhitans verið aðeins fá hundruð MW. Síðan óx það mjög samhliða stækkun eystri ketilsins og myndun þess vestari og var komið yfir 1000 MW á 7. áratug 20. aldar og hefur nú verið um 1500 MW í nokkra áratugi. Ekki eru beinar vísbendingar um að breytingar á eystri katlinum á árunum 2010–2015, en þá víkkaði hann nokkuð og stækkaði, hafi stafað af aflaukningu, heldur hefur jarðhiti sennilega færst til. Vestari ketillinn virðist fara heldur vaxandi samfara hægt auknu jarðhitaafli undanfarna áratugi. Getgátur hafa verið um það hvort breyting á Skaftárhlaupum eftir 1955 stafi af því að Skaftárjökull hörfaði frá Langasjó og þar með hafi afrennsli frá jöklinum átt greiðari leið austan Fögrufjalla. Við hættumatsvinnuna komu fram vísbendingar um að svo sé ekki (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018a).

Sú staðreynd að aukin flóð eftir 1955 stafa að mestu af breyttri virkni í kötlunum veldur því að spár um framtíðarþróun verða erfiðari og þar með hættumatið. Ekki eru leiðir til meta hvernig breyting í virkni katlanna mun þróast á næstu árum og áratugum eða hvort reikna megi með stærri flóðum sem muni koma fram með til þess að gera reglulegu millibili. Rétt er að fram komi að sagnir um hlaup á liðnum öldum, t.d. fyrir Skaftárelða, benda til þess að virkni jarðhita þar sem nú eru Skaftárkatlar hafi ekki verið stöðug og hún kunni að sveiflast til milli áratuga og alda.

4 Hvert stefnir?

4.1 Hlaupin sjálf og setframburður

Eyðingarmáttur hlaupanna og framburðargeta þeirra ræðst mikið til af stærð flóðfaldsins, hve hratt hlaupið vex og hámarksrennslinu en heildarrúmtak hlaupanna skiptir minna máli. Hlaupin hafa jafnframt mun meiri áhrif á setframburð út fyrir farveginn heldur en árlegt meðalrennsli árinna. Vísbendingar eru um að eðli hlaupanna sé nú að breytast frá því sem var á árabílinu 1955–2015, væntanlega mestmegnis vegna breytinga í Skaftárkatli eystri. Eins má á næstu árum búast við auknu meðalrennsli vegna veðurfarsbreytinga.

Verði hlaup við lága grunnvatnsstöðu hripar mikið niður í hraunið af eðjubornu vatni og framburður sest til í holrými hraunsins. Sé grunnvatnsstaðan á hinn bóginn há svo að hraunið geti ekki tekið við meira vatni berst flóðvatnið lengra fram og leggur sandkápu á hraunið. Meginniðurstaðan er sú sama hvort sem um er að ræða endurtekin flóð af sambærilegri stærð og verið hefur, eða til þess að gera fá en stór flóð. Líklegast er að set muni halda áfram að berast út á Eldhraun og jafnvel í auknum mæli ef miðað er við ofangreindar upplýsingar. Farvegir munu færast til þegar þeir hafa byggt nægilega undir sig út á Eldhraunið. Það mun hafa áhrif á grunnvatnsstrauma.

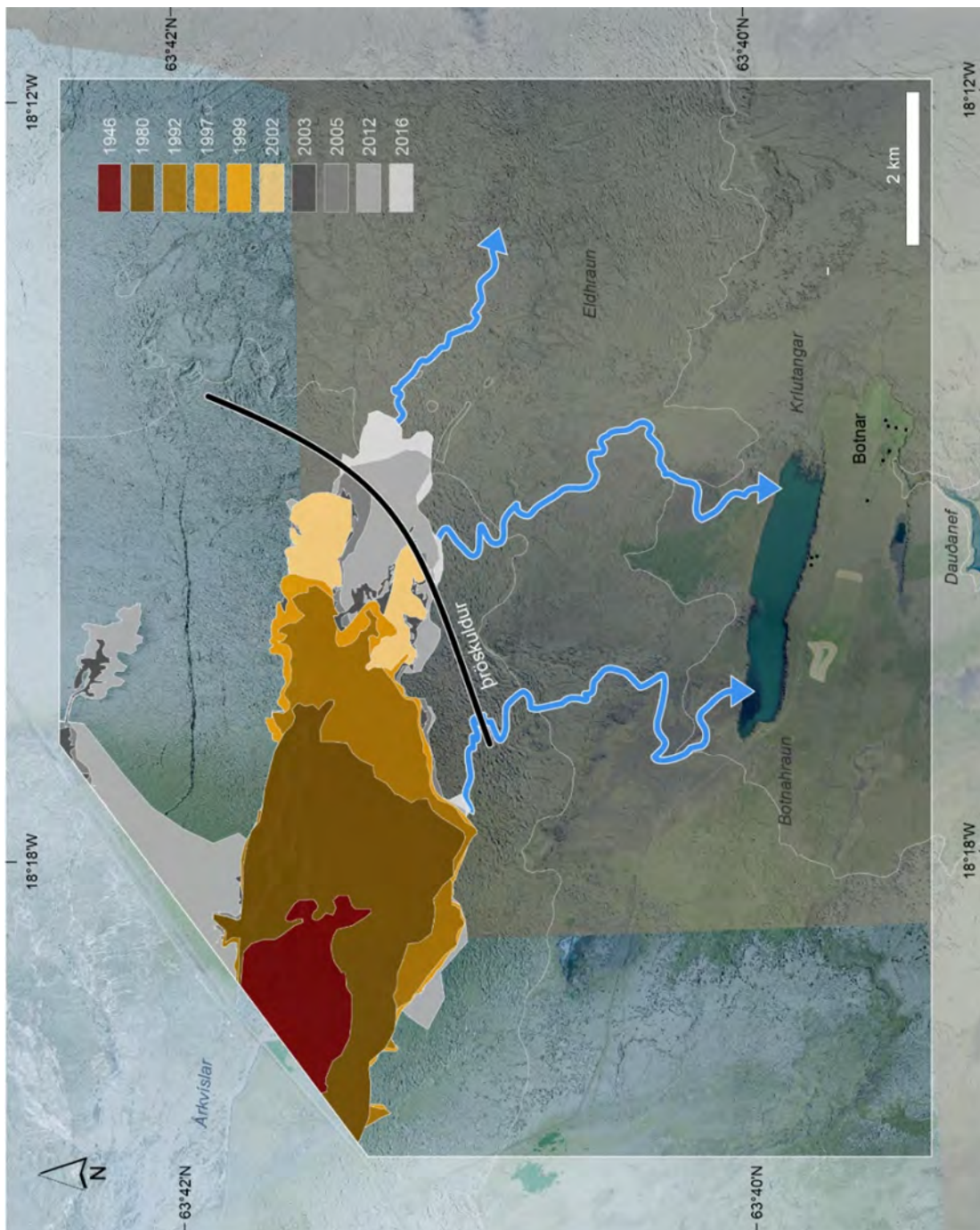
Erfitt er að spá fyrir um þær breytingar en miðað við fyrirbyggjandi landlíkan gætu rennsleiðirnar við Brest hugsanlega orðið eins og sýnt er á Mynd 25.

Áhrif jökulhlaupa á lífríki Skaftár virðast mjög takmörkuð og tímabundin samkvæmt viðtali við Magnús Jóhannesson hjá Veidimálastofnun (Vísir, 2015). Hins vegar hefur dregið verulega úr lindarennslinu neðan Eldhrauns, eins og kemur fram í kafla 2.6, til að mynda í Grenlæk sem er á náttúruminjaskrá. Hætt er við að þurrðir þar muni halda áfram og jafnvel aukast eftir því sem flóð verða fleiri og stærri, og meðan sumarvatni er veitt á hraunin.

4.2 Fok og loftgæði

Helstu beinu áhrif af hlaupunum í Skaftárhreppi fyrir utan rof og setmyndun eru rykmistur, sandfok og skert loftgæði. Slíkt hefur eðlilega áhrif á íbúa en einnig á ferðaþjónustu sem er vaxandi í Skaftárhreppi. Til að aðstæður versni ekki við áframhaldandi hlaup þarf að stemma stigu við sandfoki, einkallega í nágrenni við Eldhraun. Það ryk sem lagðist yfir Klaustur og aðliggjandi vegi, dró verulega úr loftgæðum og byrgði vegfarendum sýn, virðist hafa verið tímabundið og að mestu horfið um átta mánuðum eftir hlaup. Landgræðslan hefur oft sáð í leirsvæðin til að hefta sandfok og er eðlilegt að því verði haldið áfram.

Búast má við að meðan á hlaupunum stendur og í kjölfar þeirra þegar setið þornar og fýkur til geti það haft þau áhrif að ferðamönnum á svæðinu fækki. Hins vegar sýndi Eyjafjallajökulgosið svo ekki verður um villst að ferðamannastraumurinn getur aukist þegar frá líður og mikill áhugi er að skoða áhrif slíkra frumkrafta þegar hættuástandi linnir. Gera má ráð fyrir að ferðaþjónusta í tengslum við náttúruskoðun kunnri að aukast mjög þegar fram í sækir. Hugsanlegt er að hluti slíkrar ferðaþjónustu verði að skoða afleiðingar jökulhlaupa.



Mynd 25. Hugsanleg framtíðarþróun rennslis við Brest (Esther Hlíðar Jensen o.fl., 2018a).

5 Mótvægisaðgerðir og ábendingar

5.1 Vöktun og viðvörðunarkerfi

Í allri áhættustjórnun er eitt mikilvægasta atriðið að þeir sem málið varðar fái sem fyrst vitneskju um aðsteðjandi ógn. Til að tryggja það er nauðsynlegt að viðhalda, tryggja rekstur og byggja upp, eftir þörfum, það mælanet sem komið hefur verið upp í Skaftá. Einnig þarf að tryggja reglulegar mælingar á Skaftárkötunum með ýmis konar fjarkönnun og mælingum í kötlunum. Þá er mikill kostur að reka GPS mælistöð þegar mesta hættan er á hlaupum. Vöktunin gæti hafist um 18 mánuði frá síðasta hlaupi og náð yfir sumartímam þegar mestar líkur eru á að hlaup verði. Mælingar með GPS-tæki um breytingar á yfirborðshæð Eystris-Skaftárketils sem bárust jafnóðum til náttúruvávaktar Veðurstofnunnar urðu til þess að viðvörðunartími til aðgerða niður í Skaftárdal var tveir til þrjú dagar bæði 2015 og 2018. Áframhaldandi rannsóknir á þróun Skaftárkatla er lykilþáttur í því að geta áttað sig á mögulegu umfangi Skaftárhlaupa og við hverju megi búast í hverju hlaupi fyrir sig.

Setframburður hefur veruleg áhrif á umfang flóðanna auk þess sem grunnvatnsstaða hefur mikil áhrif á hvað mikið af flóðvatni berst fram eftir Eldhrauni. Mjög æskilegt er að taka upp aftur vöktun á grunnvatnshæð eins og var á árabílinu 2006–2014. Veðurmælingar í Eldhrauni gætu fyllt enn frekar upp í myndina.

5.2 Bætt landlíkan

Til að fá enn betri niðurstöður úr reiknilíkönun fyrir mismunandi sviðsmyndir flóða er nauðsynlegt að hafa nákvæmt landlíkan, sbr. kafla 3.4. Enn eru staðir á svæðinu þar sem þarf nákvæmara líkan frá því sem var þegar unnið var að þessu verkefni. Má þar nefna Eldhraun og svæðið nærri byggðinni við Kirkjubæjarklaustur, en nauðsynlegt er að mannvirki og aðrir þættir sem hafa áhrif á rennslið sjáist vel til þess að niðurstöður hermana verði sem bestar.

5.3 Landnotkun og skipulag

Ein mikilvægasta mótvægisaðgerð vegna náttúruvár er að taka tillit til hættumats við skipulag og ákvarðanir um landnotkun. Þetta getur dregið verulega úr tjóni vegna jökulhlaupa eins og Skaftárhlaupa. Verkefni þetta getur nýst vel fyrir skipulagsyfirlögd. Sem dæmi má nefna að Eldhraun þéttist með tímanum vegna mikils setframburðar sem hefur aftur áhrif á farveg flóðvatns. Réttar ákvarðanir um vegakerfið, varnargarða og ferðamannastaði geta skipt sköpum um afleiðingar og áhrif flóða.

5.4 Upplýsingagjöf og uppbygging þekkingar meðal almennings

Íbúar sveitarfélagsins vita vel af Skaftárhlaupum og áhrifum þeirra. Aukin ferðamennska á svæðinu kallar á að upplýsingagjöf sé góð þannig að viðbrögð og skilningur á flóðunum sé sem bestur. Einnig er mikilvægt að þekking viðhaldist og er það hættumat sem unnið hefur verið að hér lykilþáttur í því. Brýnt er að viðhalda góðri samvinnu milli íbúa sveitarfélagsins, sveitarstjórnarinnar, sérfræðinga, hagsmunaaðila, s.s. Vegagerðarinnar, og viðbragðsaðila þannig að þekking okkar á Skaftárhlaupum og kötlunum sjálfum og þróun þeirra haldi áfram að aukast. Þannig má framvegis tryggja góðar mótvægisaðgerðir og viðbrögð við Skaftárhlaupum.

6 Þakkir

Skýrslan er hluti af verkefningu um hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá sem styrkt er af Ofanflóðasjóði. Unnið var að skýrslunni í samstarfi við Náttúrustofu Suðausturlands og fá starfsmenn þakkir fyrir. Ennfremur er Kristínu Hermannsdóttur, Pálinu Pálsdóttur og Sveini Runólfssyni þakkað fyrir yfirlestur og ábendingar. Rannveig Ólafsdóttir vann úr viðhorfskönnun meðal íbúa og eru henni færðar þakkir. Snorri Páll Snorrason lagði til mikilsverðar upplýsingar um jarðfræði og setframburð og vatnafar í Eldhrauni og eru honum færðar sérstakar þakkir fyrir það. ArcticDEM yfirborðslíkan sem notað var í reikningunum byggist á gervitunglamyndum frá DigitalGlobe, Inc. og er fjármagnað af styrkjum nr. 1043681, 1559691 og 1542736 frá National Science Foundation í Bandaríkjunum. Við færum þeim þakkir fyrir afnot af myndum og landlíkani.

7 Heimildir

- Auður Atladóttir, Emmanuel Pagneux, Matthew J. Roberts, Oddur Sigurðsson, Bergur Einarsson, Gunnar Sigurðsson & Jórunn Harðardóttir (2013). *Handbók um Skaftárhlaup Viðbragðs-áætlun*. Skýrsla VÍ 2013-003. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Árni Ragnarsson (2015). Geothermal Development in Iceland 2010–2014. Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19–25 April 2015.
- Bergur Einarsson (2009). *Jökulhlaups in Skaftá: A study of a jökulhlaup from the Western Skaftá cauldron in the Vatnajökull ice cap, Iceland*. Skýrsla VÍ 2009-006. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Egill Axelsson (2015). Tungnaá – spýja úr hlaupi. Tölvupóstur 5. okt. 2015: Landsvirkjun.
- Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Garðar Þorfinnsson, Guðný H. Indriðadóttir & Gústav M. Ásbjörnsson (2012). *Eldhraun á Út-Síðu í Vestur Skaftafellssýslu. Úttekt á gróðurfari og jarðvegsrofi*. Gunnarsholt: Landgræðsla ríkisins.
- Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Gústav Ásbjörnsson & Sveinn Runólfsson (2008). *Yfirlit yfir sandsvæði og landbrot við Skaftá*. Gunnarsholt: Landgræðsla ríkisins.
- Emmanuel Pagneux, Bogi B. Björnsson & Davíð Egilson (2018a). *Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá: Útbreiðsla og flóðhæð Skaftárhlaupsins haustið 2015*. Skýrsla VÍ 2018-004. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Emmanuel Pagneux, Matthías Á. Jónsson, Tinna Þórarinsdóttir, Bogi B. Björnsson, Davíð Egilson & Matthew J. Roberts (2018b). *Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá: Hermun flóðasviðs-mynda*. Skýrsla VÍ 2018-008. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Esther Hlíðar Jensen, Davíð Egilson, Emmanuel Pagneux, Bogi B. Björnsson, Snorri Zóphóníasson, Ingibjörg Jónsdóttir, Matthías Á. Jónsson, Ragnar H. Þrastarson & Matthew J. Roberts (2018b). *Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá: Set í hlaupi haustið 2015*. Skýrsla VÍ 2018-006. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- 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 (2018a). *Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá: Mat á setflutningi með sögulegu yfirliti*. Skýrsla VÍ 2018-005. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Esther Hlíðar Jensen, Jórunn Harðardóttir, Svava Björk Þorláksdóttir & Snorri Zóphóníasson (2011). *Heildarframburður Skaftár við Sveinstind árin 2001–2008*. Skýrsla VÍ 2011-018. LV-2011/088. Reykjavík: Landsvirkjun.
- Eyjólfur Magnússon (2003). Airborne SAR data from S-Iceland: Analyses, DEM improvements and glaciological application. MS ritgerð, Háskóli Íslands, Reykjavík.
- Fanney Gísladóttir (1997). *Veiting Jökulvatns á Eldhraun, saga aðgerða og afleiðingar*. Gunnarsholt: Landgræðsla ríkisins.
- Finnur Pálsson & Helgi Björnsson (2002). *Athugun á afkomu Skaftárkatla og vatnsrennsli frá vatnasviði þeirra*. Reykjavík: Raunvísindastofnun Háskólans.
- Freysteinn Sigurðsson (1977). *Lindir í Landbroti og Meðallandi. Uppruni Lindavatnsins*. OS-97021. Reykjavík: Orkustofnun.
- Freysteinn Sigurðsson & Guttormur Sigbjarnarson (1985). Groundwater in Iceland. Paper presented at the Nordic Hydrological Conference, Nyborg, 6–8 August 1984. OS-85038/VOD02. Reykjavík: Orkustofnun.

- Haukur Tómasson (1982). *Áhrif virkjunarframkvæmda á aurburð í Þjórsá*. Sótt á <http://www.os.is/gogn/Skyrslur/OS-1982/OS-82044.pdf>.
- Haukur Tómasson, Helgi Gunnarsson & Páll Ingólfsson (1976). *Langölduveita. Rannsókn á tilraunalóni við Tungnaá*. Reykjavík: Orkustofnun. Sótt á <http://www.os.is/gogn/Skyrslur/1976/OSROD7642.pdf>.
- Helgi Björnsson (1977). The Cause of jökulhlaups in the Skaftá River, Vatnajökull. *Jökull*, 27, 71–78.
- Helgi Björnsson & Páll Einarsson (1990) Volcanoes beneath Vatnajökull, Iceland: Evidence from radio echo-sounding, earthquakes and jökulhlaups. *Jökull*, 40, 147-168.
- Hermann Þórðarson (2004). Hver eru mengunaráhrif brennisteins? Vísindavefurinn. Sótt 12. nóv 2017 frá <https://www.visindavefur.is/svar.php?id=4381>.
- Ingibjörg Kaldal (1998). *Skaftá - athugun á áfoki. Stöðuyfirlit í árslok 1998*. Reykjavík: Orkustofnun Sótt á <https://orkustofnun.is/gogn/Greinargerdir/Grg-OS-1998/IK-98-05.pdf>.
- Ingibjörg Kaldal & Elsa G. Vilmundardóttir (2000). *Athugun á áfoki við Skaftá og Hverfisfljót. Stöðuyfirlit í mars 2000*. Reykjavík: Orkustofnun. Sótt á <https://orkustofnun.is/gogn/Skyrslur/OS-2000/OS-2000-029.pdf>
- Jón Steingrímsson (1973). *Æfisagan og önnur rit* (Kristján Albertsson, umsj. með útgáfu). Reykjavík: Helgafell.
- Matthías Ásgeir Jónsson, Tinna Þórarinsdóttir, Emmanuel Pagneux, Bogi B. Björnsson, Davíð Egilson, Tómas Jóhannesson & Matthew J. Roberts (2018). *Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá: Kvörðun straumfræðilíkans*. Skýrsla VÍ 2018-007. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Magnús Tumi Guðmundsson, Eyjólfur Magnússon, Þórdís Högnadóttir & Finnur Pálsson (2018). *Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá: Skaftárkatlar – saga og þróun 1938–2018*. Jarðvísindastofnun Háskólans og Veðurstofa Íslands, handrit.
- Magnús Tumi Guðmundsson, Emmanuel Pagneux, Matthew J. Roberts, Ásdís Helgadóttir, Sigrún Karlsdóttir, Eyjólfur Magnússon, Þórdís Högnadóttir & Ágúst Gunnar Gylfason (2016). *Jökulhlaup í Örafum og Markarfljóti vegna eldgosá undir jökli: Forgreining áhættumats*. Reykjavík: Jarðvísindastofnun Háskólans, Veðurstofa Íslands, Ríkislögreglustjóri.
- Morgunblaðið (1996). Melskurður fór úrskaiðis. 27. september. Reykjavík. Sótt á <https://www.mbl.is/greinasafn/grein/289047/>
- Morgunblaðið (2005). Hnausar í Meðallandi – 21 maí eftir Vilhjálmi Eyjólfsson fréttaritari. Morgunblaðið. Sótt á <https://www.mbl.is/greinasafn/grein/1029217/>
- Morgunblaðið (2008). Varað við brennisteinsmengun. 279. tbl. 12. okt bls. 2. Reykjavík. Sótt á http://timarit.is/view_page_init.jsp?pageId=4201883
- Náttúruvæðing Veðurstofunnar. (2018a). Fréttatilkynning vegna Skaftárhlaups 2. ágúst 2018. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Náttúruvæðing Veðurstofunnar. (2018b). Fréttatilkynning vegna Skaftárhlaups 5. ágúst 2018. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Náttúruvæðing Veðurstofunnar. (2018c). Fréttatilkynning vegna Skaftárhlaups 8. ágúst 2018. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Pagneux, E. & Roberts, M.J. (2015). Örafi district and Markarfljót outwash plain: Rating of flood hazards. In E. Pagneux, M.T. Guðmundsson, S. Karlsdóttir & M.J. Roberts (Eds.), *Volcanogenic floods in Iceland: An assessment of hazards and risks at Örafajökull and on the Markarfljót outwash plain* (bls. 101–122). Reykjavík, Iceland: IMO, IES-UI, NCIP-DCPEM.

- Páll Jónsson (1993). *Stór Skaftárhlaup 1970–1991*. Skýrsla OS93056/VOD-09 B. Reykjavík: Orkustofnun.
- RÚV (2015). Haldi sig fjarri vegna mengunar. RÚV frétt dagsett 1. okt. 2015. Sótt á <http://www.ruv.is/frett/haldi-sig-fjarri-vegna-mengunar>.
- RÚV (2016a). Ryk vegna Skaftárhlaups angrar íbúa. Ísland: RÚV frétt dagsett 2. maí 2016. Reykjavík. Sótt á <http://www.ruv.is/frett/ryk-vegna-skaftarhlaups-angrar-ibua>.
- RÚV (2016b). Rykmistur yfir Eldhrauni – myndir. Ljósmynd: Ólafur Thoroddsen 14. maí 2016. Reykjavík. Sótt á <http://www.ruv.is/frett/rykmistur-yfir-eldhrauni-myndir>.
- Sigurður Reynir Gíslason, Eydís Salome Eiríksdóttir, Bergur Sigfússon, Sverrir Óskar Elefsen & Jórunn Harðardóttir (2004). *Efnasamsetning og rennsli Skaftár: í septemberhlaupi 2002, sumarrennsli 2003 og í septemberhlaupi 2003*. Skýrsla RH-07-2004, Reykjavík: Raunvísindastofnun Háskólans.
- Skaftárhreppur (2011). Aðalskipulag Skaftárhrepps 2010–2022. Greinargerð. Sótt á http://www.klaustur.is/files/SA10a-greinarg_2011-lok.pdf.
- Snorri Zóphóníasson & Svanur Pálsson (1996). *Rennsli í Skaftárhlaupum og aur- og efnastyrkur í hlaupum 1994, 1995 og 1996*. Reykjavík: Orkustofnun, skýrsla OS-96066/VOD-07.
- Snorri Zóphóníasson. (2002). *Rennsli í Skaftárhlaupum 1955–2002*. Reykjavík: Orkustofnun Vatnamælingar, greinargerð SZ-2002-01.
- Snorri Zóphóníasson. (2015). Hvernig reikna menn út rennsli í rúmmetrum í jökulhlaupum? Vísindavefurinn. Sótt 20. Sótt á <https://www.visindavefur.is/svar.php?id=70656>.
- Snorri Zóphóníasson. (2015a). *Vatnafar í Eldhrauni. Náttúrulegar breytingar og áhrif veitumannvirkja*. Skýrsla VÍ 2015-003. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Snorri Zóphóníasson. (2015b). Skaftá, áhrif hennar í byggð. *Jökull*, 65, 89–90.
- Svanur Pálsson, Guðmundur H. Vigfússon & Jórunn Harðardóttir (2001). *Framburður svifaus í Skaftá*. Reykjavík: Orkustofnun, OS-2001/068.
- Svanur Pálsson & Snorri Zóphóníasson (1992). Skaftárhlaupið 1991. Sérkenni í aur- og efnastyrk. Reykjavík: Orkustofnun, skýrsla OS-92014/VOD-02.
- Sveinn Runólfsson (2015). Áveitur úr Skaftá í Árkvíslar og Brest. Málavextir langrar sögu vatnaveitinga í Árkvíslar. Gunnarsholt: Landgræðsla ríkisins og Vegagerðin.
- Sæmundur Magnússon Hólm (1784). Om jordbraanden paa Island i aaret 1783. Sótt á <http://baekur.is/bok/000385243/OmJordbrandenpaaIslandi>.
- Thordarson, T. & Self, S. (2003). Atmospheric and Environmental effects of the 1783–1784 Laki eruption: A review and reassessment. *Journal of Geophysical Research*, 108(d1), 4011, doi:10.1029/2001JD002042.
- Tómas Jóhannesson, Ólafur Haraldsson & Bergur Einarsson (2018). Skaftárhlaup í október 2015. Rúmmál hlaupsins, rennsli og vatnshæð við Sveinstind. Veðurstofa Íslands, minnisblað dags. 24.3.2018, málsnr. 2016-134/2018-0171.
- Vísir (2011). Hlaup að hefjast í Skaftá. Frétt 28. júlí 2011, Reykjavík. Sótt á <http://www.visir.is/g/2011110729053/hlaup-ad-hefjast-i-skafta>.
- Vísir (2015). Lífríkið stendur Skaftárhlaupið af sér. Frétt á visir.is 6. okt. 2015. Sótt á <http://www.visir.is/g/2015151008728>.

Viðauki I. Viðhorf heimamanna til Skaftárhlaupsins 2015

Þann 14. mars 2016 var haldinn íbúafundur í félagsheimilinu Tunguseli í Skaftártungu þar sem verkáætlun um hættumat vegna Skaftárhlaupa var kynnt. Um 60 manns mættu á fundinn og fram komu fjölmargar ábendingar um það sem var fólki ofarlega í huga. Þar voru nefnd atriði eins og:

- Viðbrögð og viðbragðstími við upphaf Skaftárhlaups
- Landskemmdir vegna flóða
- Setmyndun og aurbleytur
- Fok

Um þetta leyti var vart verulegrar rykmengunar í Landbroti og Meðallandi og var fjallað um það í fjölmiðlum.³

Við gerð flóðahættumatsins þótti skipta miklu að heyra frá íbúum bæði um það sem olli þeim áhyggjum meðan á hlaupunum stóð en ekki síður tillögur þeirra varðandi úrræði og viðbúnað. Þess vegna var í upphafi árs 2017 lagður fram spurningalisti fyrir íbúa Skaftárhrepps þar sem viðhorf þeirra til atburðanna voru könnuð og leitað álits þeirra á að hverju þyrfti að gæta og bæta mætti úr þegar slíkir atburðir standa yfir.

Spurningalistinn var unnin í samvinnu Veðurstofu Íslands og Náttúrustofu Suðausturlands og sendur út rúmu ári eftir að hlaupinu 2015 lauk. Af 470 íbúum Skaftárhrepps svöruðu 37 manns eða tæplega 8% íbúa. Þar af voru tveir þriðju á aldrinum 40 ára og eldri. Karlar voru í nokkrum meirihluta svarenda eða 63% á móti 37% kvenna.

Af þeim sem svöruðu eru flestir búsettir í Landbroti eða 27%. Tæp 19% svarenda búa á Klaustri og 19% svarenda á Síðu en minni svörun var í öðrum héruðum. Það kom nokkuð á óvart hve svörunin var dræm en hafa verður í huga að hættan sem slík var liðin hjá þegar spurningalistinn var lagður fram. Einn meginlærdómurinn er því sá að mikilvægt er að leita eftir viðhorfum fólks meðan hættan vofir yfir því áhyggjurnar hverfa þegar hættan líður hjá.

³ <http://www.ruv.is/frett/rykmistur-yfir-eldhrauni-myndir>.

Það sem almennt má lesa út úr svörunum:

- Mest er svörunin í Landbroti, enda eru margir bæir þar sem hafa ýmissa hagsmuna að gæta varðandi grunnvatnsrennsli og rennslisbreytingar tengdar Skaftá.
- Flestir starfa í landbúnaði enda er það helsti atvinnuvegur íbúa Skaftárhrepps.
- Helstu áhyggjur við upphaf flóðs eða hápunkt flóðs var af innviðum/mannvirkjum.
- Almennt taldi fólk breytingar á náttúrufari í kjölfar hlaupsins hafa neikvæð áhrif frekar en jákvæð.
 - Lítið af jákvæðum áhrifum, þó einna helst að aur í litlum mæli hafi góð áhrif á sprettu.
 - Neikvæð áhrif voru af ýmsum toga og mjög misjafnt eftir því hvaða hagsmuna fólk hafði að gæta; rykmengun, rennslisbreytingar, gróðurskemmdir o.fl.
- Almennt hafði hlaupið neikvæð frekar en jákvæð áhrif á lífsgæði fólks til skamms tíma lítið. Breyting á rennsli vatnsfalla, breyting á innviðum og rykmengun dró einna helst úr lífsgæðum. Eldvatnsbrúin og vegur sem fór í sundur var sérstaklega tilgreint.
- Það sem helst þarf að vera til staðar varðandi fyrstu viðbrögð við Skaftárhlaupi er gott fjarskiptasamband; þörf er á sjálfvirku sms, tilkynning á neti sem og aðgengilegu hættumati.
- Það sem skiptir mestu máli varðandi fyrirbyggjandi aðgerðir framvegis er að til sé hættumat með sviðsmyndum (sumir töldu að það skipti minnstu máli). Lega og áhrif varnarmannvirkja, veituleiðir og uppbygging innviða svo sem val á vegstæðum skiptir miklu máli.

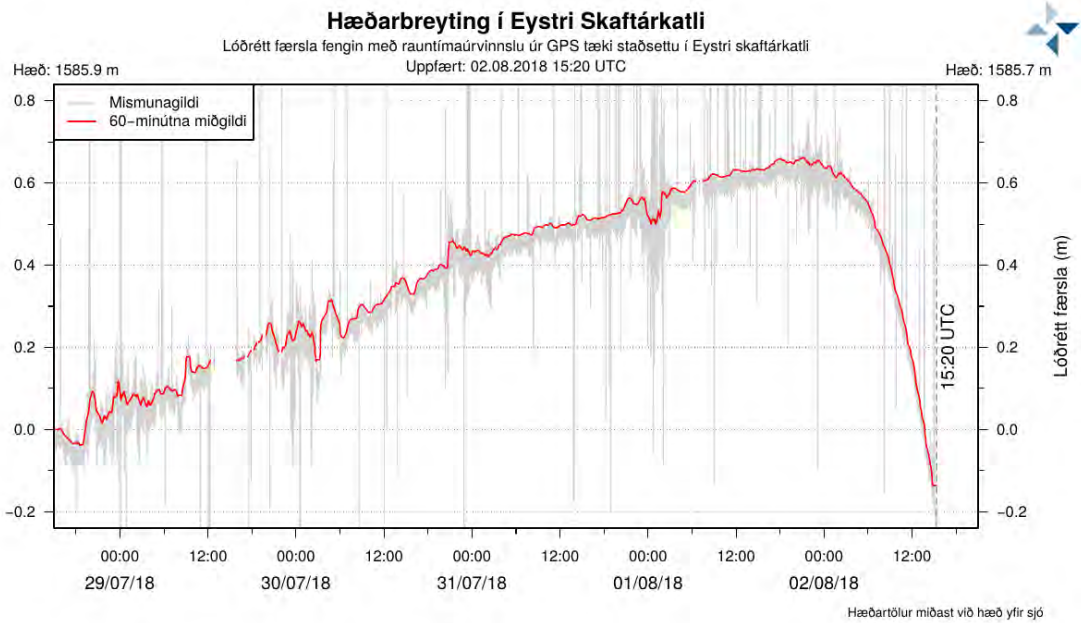
Samantekt úr svörum heimamanna við spurningalistakönnun um viðhorf til Skaftárhlaupa.

Viðauki II. Hlaupið 2018

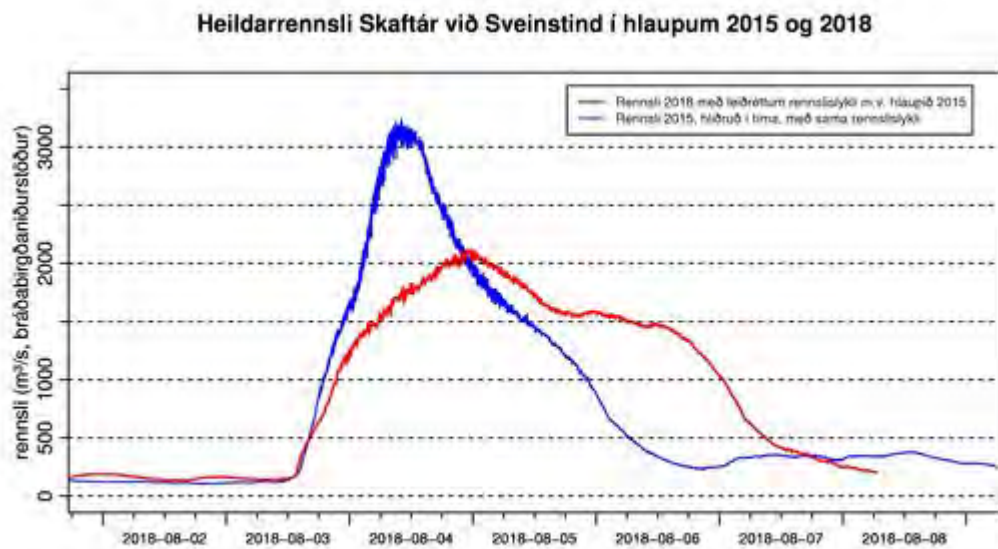
Nýtt hlaup hófst í Skaftá þann 3. ágúst 2018 þegar verið var að vinna að lokagerð þessarar skýrslu. Unnt var að sjá hlaupið fyrir með um tveggja daga fyrirvara sakir þess að vatnsborð Eystri-Skaftárketils var vaktað með samfelldum GPS-mælingum (Mynd 26). Samanlagt rúmmál hlaupsins og grunnrennslis árinna meðan á hlaupinu stóð hefur verið metið um 500 Gl enda hófst hlaup úr vestari katlinum áður en hlaupið úr þeim eystri var lokið. Þar af var hlaupið sjálft um 435 Gl en grunnrennslið um 65 Gl. Samanlagt rúmmál hlaupsins 2015 og grunnrennslisins hefur verið metið um 425 Gl, þar af var hlaupið sjálft um 365 Gl. Skaftárhlaupið nú er því stærra að rúmmáli til en hlaupið 2015 og eitthvert stærsta jökulhlaup í Skaftá síðan mælingar hófust, en sambærileg hlaup að rúmmáli urðu 1970, 1982, 1984 og 1995 auk hlaupsins 2015.

Laugardaginn 4. ágúst var flogið yfir katlana og kom þá í ljós að hlaup væri einnig hafið úr Vestari-Skaftárkatli. Áhrif hlaupvatns úr honum koma fram sem einskonar „öxl“ á hlaupferlinum, sem sést á Mynd 27. Við tæmingu katlanna léttir þrýstingi á jarðhitakerfinu undir lónunum og hvellsýður þá vatn undir jöklinum og óróahviður koma fram á skjálftamælum. Hviður með upptök í báðum kötlunum hafa nú verið greindar á mælum. Útbreiðsla flóðvatnsins var mjög í samræmi við þær sviðsmyndir sem unnar voru í Skaftárverkefninu að undanskildu því að meira vatn rann að þjóðveginum við Dyngjur. Líkur benda til þess að setframburður frá flóðinu 2015 hafi þétt hraunið á þessum stað og flóðvatnið því borist lengra fram. Einnig hefur lengd hlaupsins (tvöfalt hlaup) mjög mikið að segja.

Skaftárhlaupið 2018 náði næsthæsta rennsli við Sveinstind sem mælst hefur síðan rennslismælingar hófust þar árið 1972. Með leiðréttingu fyrir framhjärennsli náði rennslið rúmlega 2000 m³/s en rennsli í hlaupinu 2015 er metið rúmlega 3000 m³/s þegar leiðrétt hefur verið fyrir framhjärennsli.



Mynd 26. Upphaf Skaftárhlaups í ágúst 2018 skv. GPS-mælingum í Eystri-Skaftárkatli.



Mynd 27. Heildarrennsli við Sveinstind í Skaftárhlaupum 2015 og 2018 eftir að leiðrétt hefur verið fyrir framhjárennsli.

Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá Samantekt

Veðurstofa Íslands
Bústaðavegi 7–9
108 Reykjavík
www.vedur.is
Sími: 522 6000

Jarðvísindastofnun Háskólans
Sturlugata 7
101 Reykjavík
www.jardvis.hi.is
Sími: 525 4800

Forsíðumynd: Flóðvatnið í hlaupinu haustið 2015 rennur yfir varnagarðanna við Ásakvíslar © Benedikt G. Ófeigsson