

Breytingar á farvegum Leirár á Mýrdalssandi, setflutningar og mögulegar orsakir

Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir,
Guðrún Larsen, Ríkey Júlíusdóttir
Jarðvísindastofnun Háskólans, Háskóla Íslands

Stefán Ármann Þórðarson
Jarðvísindadeild, Háskóla Íslands

Esther Hlíðar Jensen
Veðurstofu Íslands



Unnið fyrir Vegagerðina

Jarðvísindastofnun Háskólans
Desember 2019
RH-09-2019

Ágrip

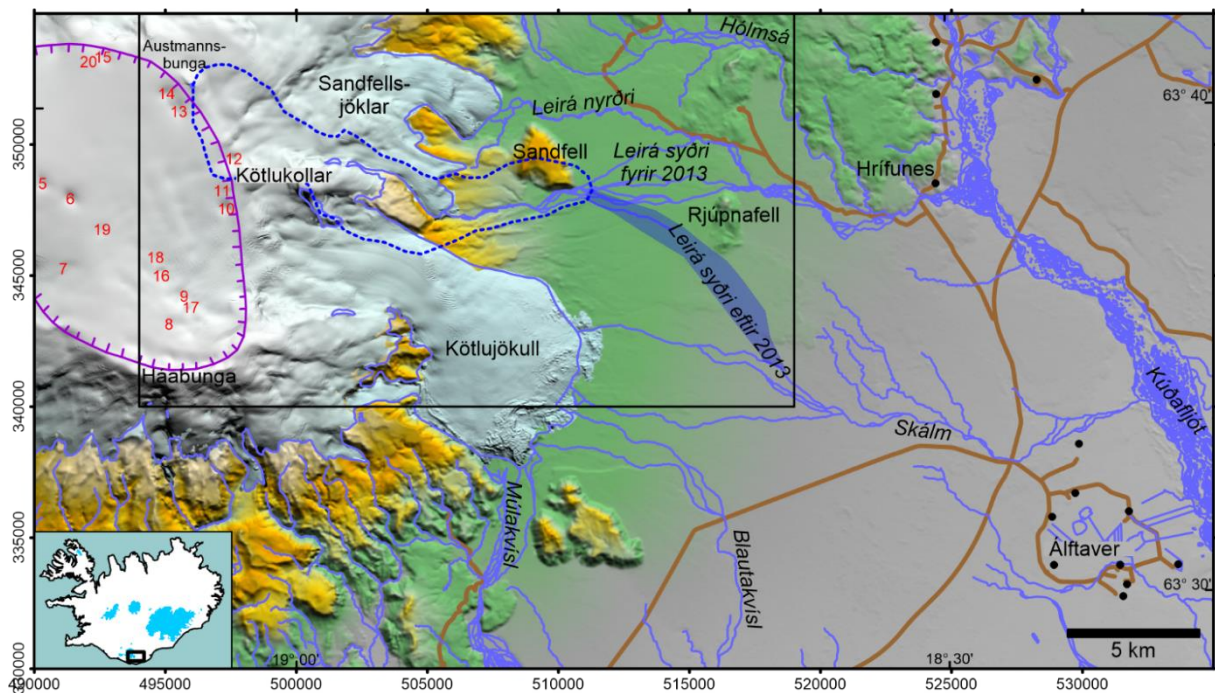
Leirá kemur úr Sandfellsjökulum í austanverðum Mýrdalsjökli. Sunnar er Kötlujökull, en um hann fellur stór hluti þess íss sem safnast fyrir innan Kötluöskjunnar. Leirárnar eru tvær, syðri og nyrðri. Þær breyttust lítið í áratugi á 20. öld en á tímabilinu 1995-2000 komu í Leirá syðri árleg hlaup. Samhliða urðu miklar breytingar á því svæði þar sem áin fellur fram á ofanverðan Mýrdalssand. Þar byggðist upp aurkeila sem teygir sig um 3,5 km í austur frá Sandfelli. Breidd hennar, miðað við það svæði þar sem umtalsverð setsöfnun hefur orðið er allt að 1,5 km. Aurkeilan er þykkust um 8 m næst Sandfelli en hún þynnist þaðan til allra átta. Þessar breytingar urðu til þess að Leirá syðri breytti um farveg. Hún sló sér til suðurs við Sandfell og fellur nú fram sandinn vestan Rjúpnafells til Skálmar. Rannsókn á setmyndun og því hvaðan þetta set geti verið komið, bendir til þess að á nokkru árabili kringum 1995-2000 hafi leysingar- og jarðhitavatn úr austurhluta Kötluöskjunnar a.m.k. að hluta komið undan jökli efst í Krika og fallið til Leirár syðri. Líklegt er að á þessu tímabili hafi áin verið töluvert vatnsmeiri en hún var löngum áður og hefur verið síðustu árin. Aurburður hafi jafnframt verið miklu meiri. Fyrir vikið hafi mikið af efni flust niður Leirá syðri og sest til þar sem hún fer að breiða úr sér fyrir austan Sandfell. Hækkun aurkeilunnar þar hafi að lokum orðið til þess að áin færðist í hinn nýja farveg. Eftir 2013 tók áin að grafa sig niður í aurkeiluna. Nú fellur hún gegnum aurkeiluna eftir breiðum, nokkurra metra djúpum farvegi. Ekki eru horfur á að áin færi sig aftur í sinn gamla farveg norðan Rjúpnafells nema á ný verði miklar breytingar á setflutningum þannig að áin fari að byggja undir sig á ný.

Efnisyfirlit

Ágrip	3
Inngangur	5
Jarðfræðilegar aðstæður	6
Gögn og mælingar	7
Niðurstöður	10
Afrennsli og stærð Leirár	10
Þróun farvega 1945-2013	14
Setflutningar	14
Aurburður í Leirá	16
Upptök jökulhlaupa	17
Lokaorð	19
Þakkir	19
Heimildir	20
Viðauki 1: Niðurstöður sigtunar setsýna við Leirá, 26.-27. júní 2017	21

Inngangur

Meginupptök Leirár á Mýrdalssandi eru í Sandfellsjöklum, skriðjöklum sem falla til austurs niður hlíðar Mýrdalsjökuls (1. mynd). Ofan til skiptist Leirá í tvær kvíslar: Leirá syðri sem fellur fram sunnan Sandfells og Leirá nyrðri sem hefur farveg norðan þess. Leirá syðri fellur fram á sandinn austan Sandfells um breiðan farveg sem talinn er hafa myndast í Kötluhlaupum. Leirá hefur lengst af runnið fram norðan Rjúpnafells og á 6. áratug 20. aldar byggði Vegagerðin varnargarða sem beindu Leirá úr Kjalnatóakvísl til norðurs yfir í Hólmsá. Á árunum 1995-2000 komu nokkur hlaup í Leirá, en það hafði þá ekki gerst um áratuga skeið. Upp úr síðustu aldamótum fór að bera á því að kvísl úr Leirá syðri væri farin að renna til suðausturs af aurkeilunni austan Sandfells. Það vatn rann fram sunnan Rjúpnafells og yfir í Skálm. Sumarið 2013 var Leirá syðri alveg hætt að renna í sínum gamla farvegi norðan Rjúpnafells og sló sér að fullu til suðausturs frá Sandfelli. Við það urðu Leirá syðri og nyrðri í raun tvær sjálfstæðar ár. Tilraunir sem gerðar voru til að veita Leirá syðri til austurs gegnum aurkeiluna báru ekki árangur. Afleiðingin af þessum breytingum var óstöðugur farvegur þar sem áin gekk á gróið land austan og sunnan Rjúpnafells. Jafnframt var ljóst að ef verulegir vatnavextir eða hlaup kæmu í ána gæti Þjóðvegi 1 norðan Skálmar verið hætta búin. Á síðustu árum hefur Leirá syðri grafið farveg í aurkeiluna austan Sandfells og ekki líkur að óbreyttu að áin flytjist í sinn gamla farveg.



1. mynd. Yfirlitskort. Austurhluti Mýrdalsjökuls með Kötluhöllunni og jarðhitakötlum innan hennar. Mýrdalssandur og farvegir Leirár. Punktalína afmarkar vatnasvið Leirár syðri ofan Sandfells. Ramminn sýnir útlínur kortsins á 4. mynd. Hnitakerfi: Lambert.



2. mynd. Flugmynd tekin til suðvesturs yfir Sandfell, Leirá, Skálm og Álftaver. Myndin sýnir nýjan farveg Leirár syðri til suðvesturs til Skálmar.

Í þessari skýrslu er gerð grein fyrir athugun á orsökum þessara breytinga á Leirá. Byggt er á loftmyndum af svæðinu sem teknar hafa verið nokkrum sinnum frá og með 1945, landlíkönum sem til eru frá 1997 og 2013, mælingum sem gerðar voru á og við Leirá 2017 og 2018, upplýsingum sem tiltækar eru um jökulhlaup sem öðru hvoru hafa orðið frá og með miðjum 10. áratug síðustu aldar og vitneskju sem aflað hefur verið um sigkatla í Mýrdalsjökli undanfarin 20 ár. Helstu markmið verkefnisins eru sem hér segir:

- Að mæla greina setflutninga í Leirá syðri með því að mæla stærð og rúmmál aurkeilunnar sem byggðist upp á nokkurra ára tímabili milli 1995 og 2010.
- Finna hvaðan setið kom sem byggði upp aurkeiluna í farvegi Leirár á þessu tímabili.
- Að finna orsakir þeirra breytinga sem urðu á Leirá og meta hvaða þróunar sé að vænta á næstu árum.

Verkefnið var styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar og hafa feltferðir, kornastærðargreiningar setsýna og hluti annarrar vinnu verið greiddur með styrknum. Verkefnið er unnið af Magnúsi Tuma Guðmundssyni, Guðrúnu Larsen, Þórdísi Högnadóttur, Ríkeyju Júlíusdóttur á Jarðvísindastofnun Háskólans, Stefáni Ármanni Þórðarsyni, MS-nema við Jarðvísindadeild HÍ og Esther Hlíðar Jensen á Veðurstofu Íslands.

Jarðfræðilegar aðstæður

Katla er ein stærsta og mikilvirkasta eldstöð landsins. Megineldstöðin rís í tæplega 1500 m hæð yfir sjó og er um 30 km í þvermál. Í henni miðri er Kötluaskjan, um 100 km² að stærð. Mýrdalsjökull þekur efri hluta fjallsins og fyllir öskjuna að mestu með 400-700 m þykkum ís (Helgi Björnsson o.fl., 2000). Bergið í neðri hluta fjallsins er að mestu móbergsmýndanir af ýmsu tagi. Basískt móberg og bólstraberg

er einnig ofan til í fjallinu en þó eru víða súrar myndanir (Haukur Jóhannesson o.fl., 1990), t.d. í Entu, Austmannsbungu, Huldufjöllum, Eystri Kötlukolli og Klakksfjöllum sem liggja niður frá Kötlukolli niður undir Krika norðan Kötlujökuls (Gissur Þórður Jóhannsson, 2010). Norðan Klakksfjalla eru Sandfellsjökklar syðri og nyrðri. Ísasvæði þeirra liggur að mestu utan Kötluoðskjunnar meðan að allur eystri hluti hennar er á ákomusvæði Kötlujökuls. Kötlujökull nær niður á láglendi og er sporðurinn sunnan til í tæplega 200 m hæð yfir sjó. Sporðar Sandfellsjökla (syðri og nyrðri) liggja heldur hærra eða í 300-400 m hæð.

Allmargir sigkatlar eru í austanverðri Kötluoðskjunn og eru þeir merki um jarðhita undir jöklinum. Sumir þessara katla safna vatni yfir veturinn og tæmast síðan á sumrin í smáhlaupum meðan undan öðrum kötlum virðist vera sírennsli (Magnús T. Guðmundsson o.fl., 2007). Einn ketill er þekktur á ísasvæði Sandfellsjökla (Ketill 12). Hann liggur uppi undir brún öskjunnar en þó utan hennar, norðan Vestari Kötlukolls.

Mýrdalssandur er myndaður af framburði Kötluhlaupa (Guðrún Larsen, 2000). Múlakvísl fellur undan jökli við suðvesturhorn Kötlujökuls við Höfðabrekkuafrétt. Skálm á upptök við sporð Kötlujökuls framanverðan. Norðan við sporðinn er Kriki, en þar eru margvíslegar myndanir, m.a. nýlegt hraun, að hluta undir þykkri setkeilu sem jökuhlaup hafa borið fram, sennilega samtímis því að hraunið rann. Stærstu Kötluhlaupin (1721, 1755, 1918) hafa að hluta runnið fram í Krika, fram Leirá og yfir stórt svæði austan og norðaustan Sandfells og allt til Hólmsár (Guðrún Larsen, 2018; Guðrún Larsen og Magnús T. Guðmundsson, 2019).

Leirá syðri fellur undan suðurjaðri Sandfellsjökuls. Fyrstu kílómetrana austan Sandfellsjökuls rennur hún á hrauni. Farvegur liggur meðfram Klakksfjöllum að austan og eftir honum rennur dálítið vatn frá Kötlujökli að Sandfellsjökli (4. mynd b). Ofan við Sandfell (2. mynd) þrýtur hraunið og þar rennur áin um aura í nokkur hundruð metra breiðum farvegi milli Sandfells og hárra bakka sem eru leifar af setkeilu. Þessi breiði og mikli farvegur milli Sandfells og bakkana er talinn hafa myndast í Kötluhlaupunum 1721, 1755 og 1918. Bakkarnir lækka til norðausturs og austan Sandfells renna þeir saman við aura Leirár syðri. Lengst af á 20. öld og vel fram yfir síðustu aldamót rann Leirá syðri fram norðan Rjúpnafells og sameinaðist Leirá nyrðri. Eftir að árnar sameinuðust rann Leirá fram sunnan Atleyjar og í Hólmsá rúmlega einum kílómetra vestan við veginn í Hrífunes.

Á árunum 1995-2013 urðu verulegar breytingar við Leirá syðri (3. mynd). Þykk aurkeila myndaðist austan Sandfells. Við það sló Leirá syðri sér til suðausturs og fann sér nýjan farveg sunnan Rjúpnafells og allt suður í Skálm. Eftir 2015 hefur áin grafið sig niður í aurkeiluna austan Sandfells, eru nú 5-8 m háir bakkar í aurinn beggja vegna árinna. Farvegurinn grynnkar til austurs og á móts við Rjúpnafell eru breiðir aurar þar sem áin fellur mjög dreift.

Gögn og mælingar

Rannsóknin byggir m.a. á tveimur landlíkönum sem unnin voru af Loftmyndum ehf (4. mynd). Fyrri líkanið var unnið fyrir Vegagerðina og er frá 1997. Það nær yfir aurana, upp í Sandfell og áleiðis upp í Krika. Samanburður við kortið frá 2013 sýnir að það er ekki nákvæmt í bökkunum sunnan farvegarins við Sandfell enda er það svæði í jaðri kortsins. Seinna landlíkanið er frá 2013, unnið að beiðni Almannavarnadeildar Ríkislögreglustjóra til að meta breytingar á farvegum Leirár. Nákvæmni kortlagningar bakkanna er mun betri en í fyrra landlíkaninu enda tilgangur kortsins annar.

Til að meta stærð og meðalrennsli Leirár var lagt mat á afrennsli frá vatnasvæði árinna (4. mynd). Notað var úrkomulíkan Crochet o.fl. (2007) og gert ráð fyrir að afrennsli/ár væri jafnt ársúrkomunni á svæðið.



3. mynd. Breytingar á farvegi Leirár við Sandfell. (a) Horft til austurs niður eftir Leirá 29. ágúst 2009. Virkt rof er í bakkanum sunnan megin. (b) Bakkarnir sunnan Leirár við Sandfell 26. júní 2017. (c) Farvegur Leirár við Sandfell. Bakkinn er um 5 m hár og mjög brattur þegar myndin var tekin. Ljósmynd. MTG.

1. tafla. Þekkt hlaup í Leirá 1995-2012.

ár	mán.	dags.	Lýsing	Heimild
1995	8	5	Hlaup í Leirá 5.-6. ágúst, á sama tíma í Syðri Emstruá. "Samkvæmt upplýsingum Morgunblaðsins mun Leirá ekki hafa hlaupið áður, svo að skrásett sé." og "Þetta er greinilega hlaup úr jöklinum, því áin er dökkmórauð og leðjukennnd."	Morgunbl. 9.8.1995 - Reynir Ragnarsson. https://www.mbl.is/greinasafn/grein/216160/
1996	7	24	Hlaup í Leirá. "Gissur Jóhannesson á Herjólfsstöðum í Álfstaveri telur að ekki hafi slík hlaup komið í ána lengi fyrir 1996"	Oddur Sigurðsson og Bergur Einarsson. 2005. Jökulhlaupaannáll 1989-2004. OS-2005/031
1997	7		Hlaup í Leirá	OS og BE. 2005.
1998	7	26	Hlaup í Leirá	OS og BE. 2005.
1999	9		Hlaup í Leirá	OS og BE. 2005.
2000	8	2	Hlaup í Leirá í byrjun ágúst	OS og BE. 2005.
2012	7	13	Lítið hlaup í Leirá. íshróngl nærri upptökum	mbl.is 13.7.2012 - Jóhannes á Herjólfsstöðum. https://www.ruv.is/frett/litid-hlaup-i-leira

Loftmyndir eru til fyrir nokkur ártöl allt aftur 1945 og sýna stöðu árfarvega, aurkeila og jökulsporða allt fram á þennan dag. Við notum hér myndir frá 1945, 1984, 1992 og 2013 (5.-9. mynd), auk landlíkananna til að varpa ljósi á þróun Leirár á þessu tímabili.

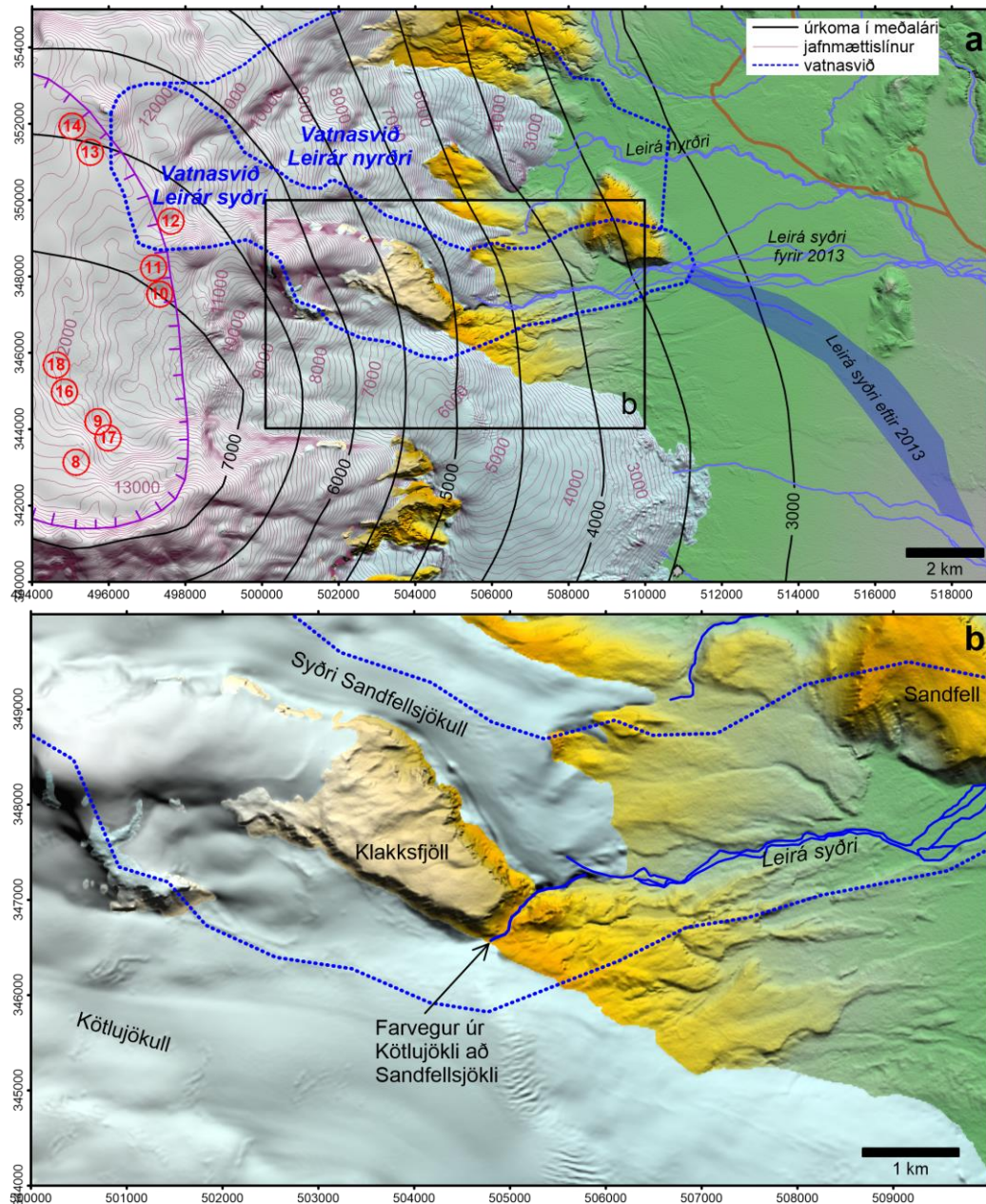
Upplýsingar um hlaup í Leirá á seinni árum (1. tafla) eru komin úr fjölmiðlum, jökulhlaupaannál Odds Sigurðssonar og Bergs Einarssonar (2005) og bloggsíðu Gissurar Þórðar Jóhannssonar á Herjólfsstöðum (1928-2012) en þar er margvíslegur fróðleikur um staðhætti, atburði og örnefni.

Tvær feltferðir voru farnar vegna þessa verkefnis. Sú fyrri var farin 26.-27. júní 2017. Fyrri daginn var farið upp með Leirá syðri að norðan að Sandfelli. Þar var áin gróflega rennismæld, tekin aurburðarsýni og setsýni úr rofnum bökkum aurkeilunnar austan Sandfells. Seinni daginn fórum við leið sem liggur til suðvesturs yfir aura Leirá syðri á móts við Rjúpnafell og síðan upp með henni að sunnan allt upp í Krika. Rennsli árinna var gróflega mælt í farveginum uppi á hrauninu suðvestan Sandfells, aurburðarsýni tekin og leiðni vatnsins mæld.

Seinni feltferðin var farin 6. júlí 2018. Þá var farin sama leið yfir aurana vestan Rjúpnafells og síðan sunnan við Leirá upp í Krika. Rennsli Leirár syðri var metið og aurburðarsýni tekin innarlega á hrauninum í Krika og sýni einnig tekin á móts við Sandfell. Við alla sýnatöku voru tekin bakkasýni (S3) með DH48 sýnatöku (Svanur Pálsson og Guðmundur Vigfússon, 1991), yfirleitt tvö sýni á hverjum stað.

Upplýsingar um hegðun sigkatla í Mýrdalsjökli á árunum 1999-2005 koma úr mælingum á yfirborði Mýrdalsjökuls úr flugvél Ísavía, TF-FMS auk einstaka mælinga á vélsleðum með DGPS á yfirborði jökulsins (Magnús T. Guðmundsson o.fl., 2007).

Aurburðarsýni voru þurrkuð og vigtuð og setsýni úr aurkeilu austan Sandfells og úr bökkunum sunnan við það voru kornastærðargreind með sigtun á tilraunastofu Jarðvísindastofnunar í Öskju (Viðauki 1). Niðurstöðum er því haldið til haga en ekki er frekar fjallað um kornastærðargreiningarnar hér.



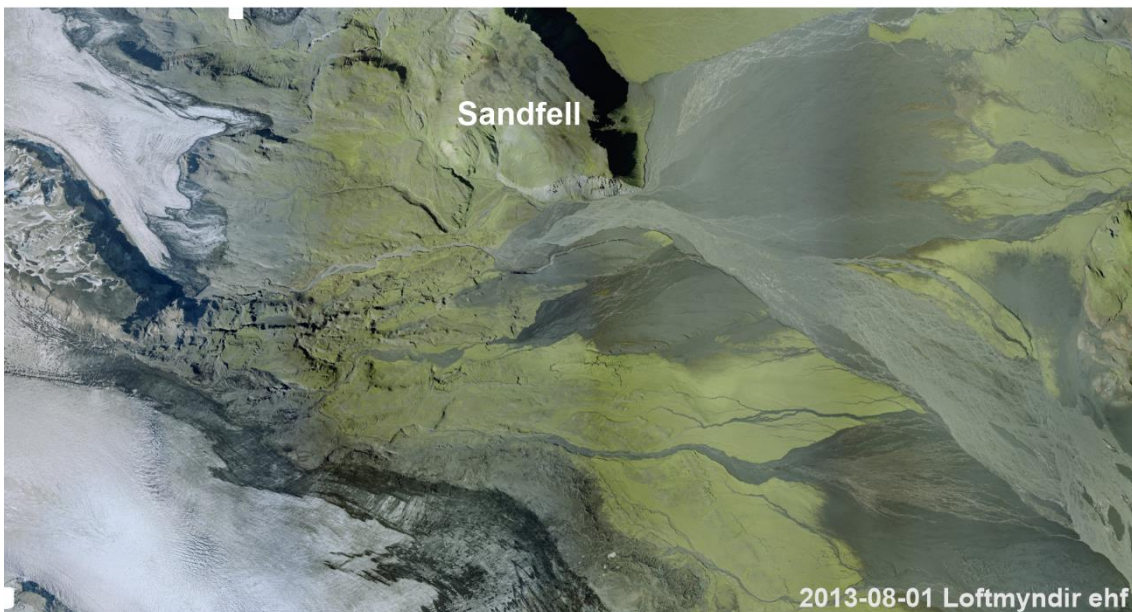
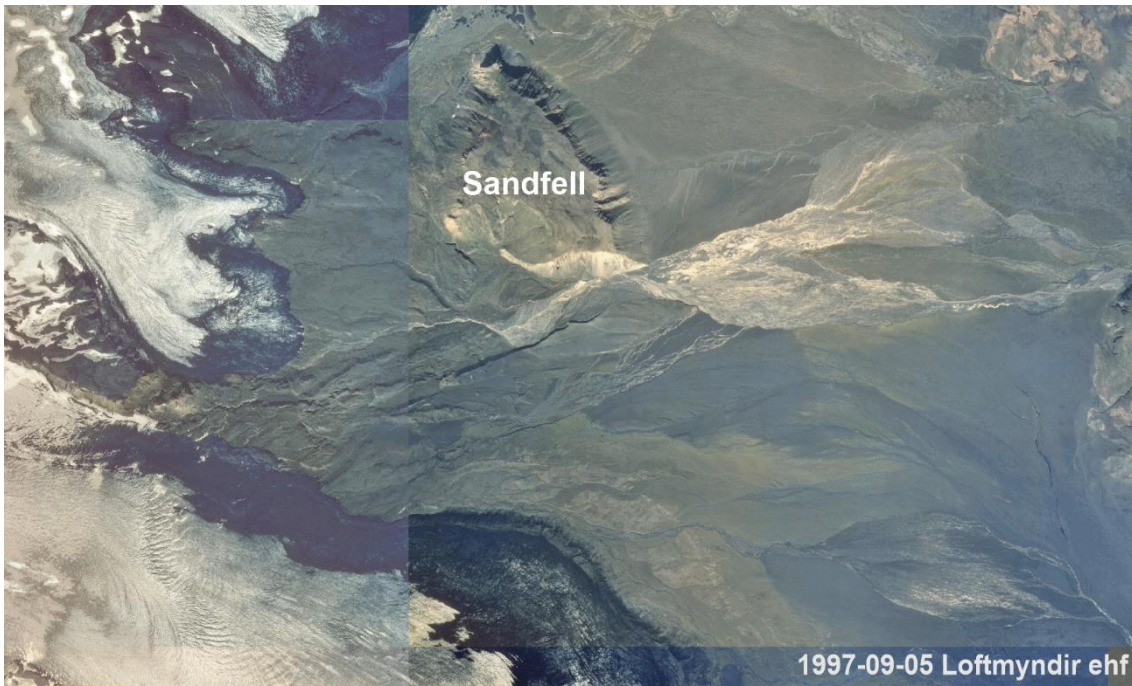
4. mynd. (a) Vatnasvið Leirár ofan Sandfells, jafnmættislinur vatnsrennslis við botn jökuls og ársúrcoma samkvæmt líkani Crochet o.fl. (2007). (b) Kort sem sýnir tengingu Kötlujökuls og Sandfellsjökuls og farveginn sem veitir vatni frá Kötlujökli.

Niðurstöður

Afrennslis og stærð Leirár

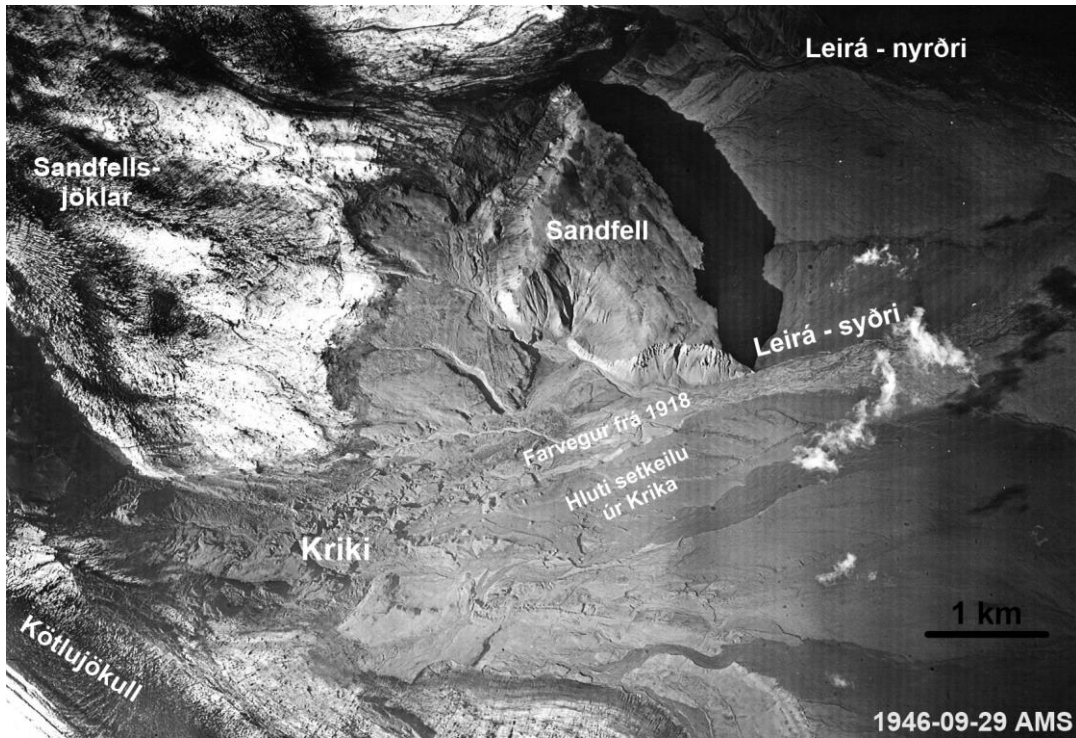
Í ljósi þess að engar skipulegar rennslismælingar eru til fyrir Leirá syðri, metum við gróflega meðalrennslis árinna út frá úrkomu á vatnasvæði hennar. Vatnasviðið er sýnt á 4. mynd ásamt áætlaðri ársúrkomu í líkani Crochet o.fl. (2007). Gerð er sú nálgun að meðalrennslis Leirár við Sandfell sé jafnt því sem þarf til að flytja ársúrkomuna á vatnasviðinu ofan þess (2. tafla). Möguleg uppgufun er ekki dregin frá og í ljósi þess að meginhluti afrennslisins kemur frá jöklinum ætti það ekki að valda mikilli skekkju.

Meðalrennslis við Sandfell ætti samkvæmt ofangreindum forsendum að vera um $7 \text{ m}^3/\text{s}$. Neðsti hluti jöklanna liggur tiltölulega lágt og því er ljóst að hluti úrkomunnar fellur sem rigning og safnast því ekki

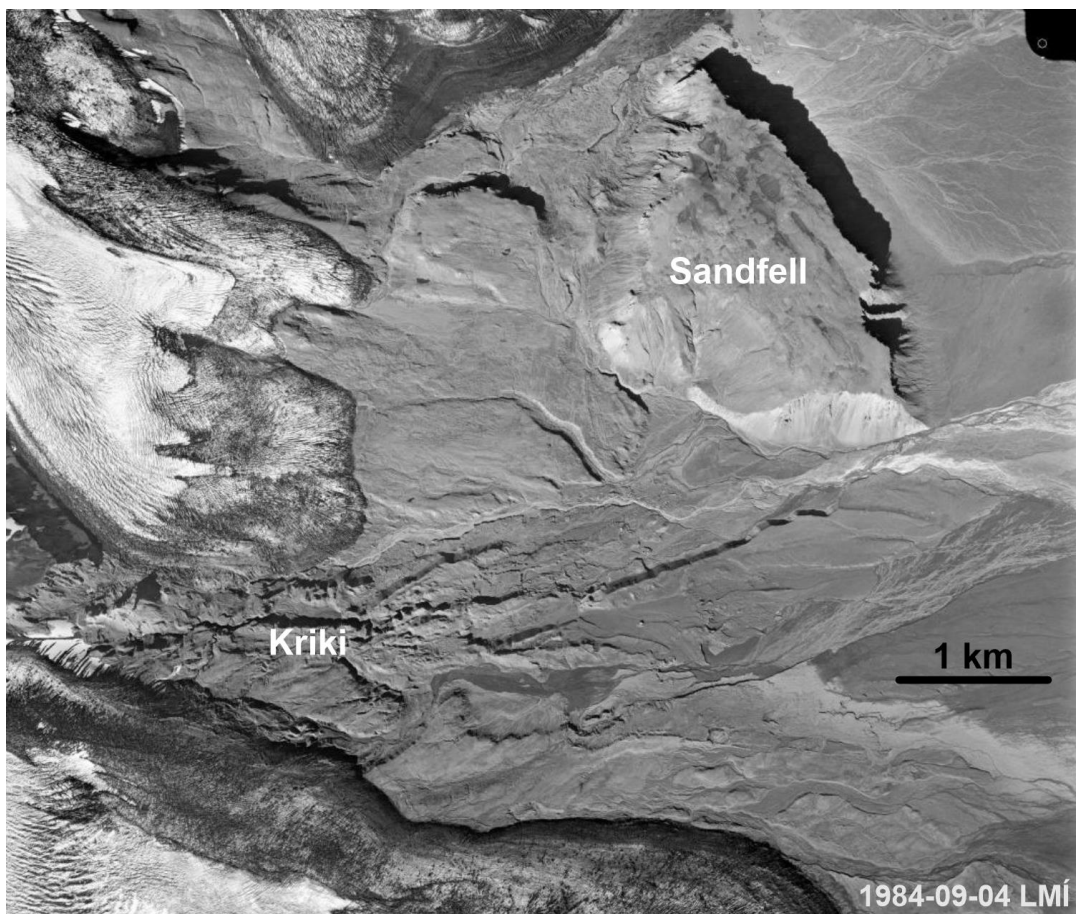


5. mynd. Samsettar loftmyndir sem hæðarlíkönin eru byggð á. Efri er frá 1997 og sú neðri frá 2013.

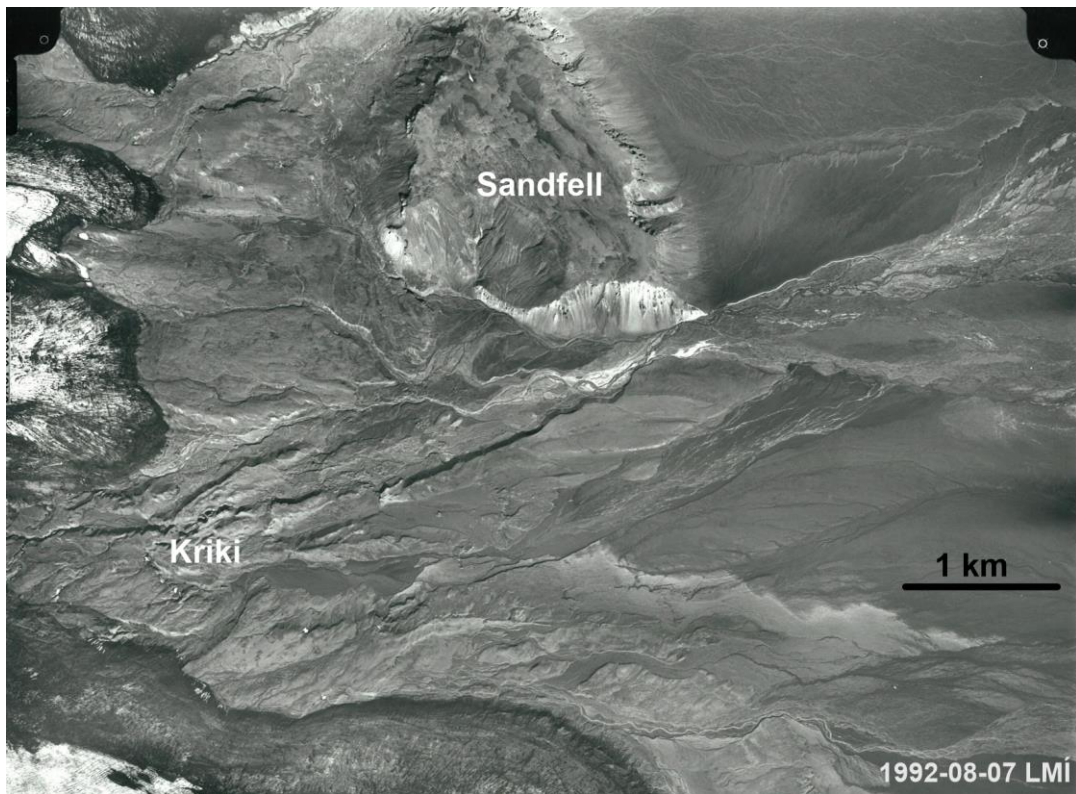
fyrir yfir veturinn sem snjófyrningar. Fyrir framburð efnis skiptir mestu máli rennsli yfir sumarið meðan að jöklaleysingar gætir. Ekki er fjarri lagi um jökulár á Suðurlandi að afrennslið sé með þeim hætti að 80% af heildar ársúrkomu á jökulinn komi fram á fjögurra mánaða tímabili (júní-september, t.d Sigurjón Rist, 1990). Því gæti meðalrennsli að sumri (júní-september) verið 15-18 m³/s við Sandfell. Ef rýrnun jökulsins hefur numið um 1 m/ári á tímabilinu (Helgi Björnsson og Finnur Pálsson, 2008) verður meðalrennsli árinna um 8 m³/s og sumarrennslið um 20 m³/s. Meðalrennsli yfir hina átta mánuði ársins gæti verið 2-4 m³/s. Þessar tölur eru vissulega ónákvæmar og ekki víst að þær gefi rétta mynd af rennslinu neðar á aurunum. Stundum tapar áin verulegum hluta rennslisins niður í grunnvatn á aurunum austan Sandfells. Um mánaðarmótin júní-júlí 2017 og 2018 náði áin suður á móts við Rjúpnafell þar sem hún hvarf að fullu í sandinn.



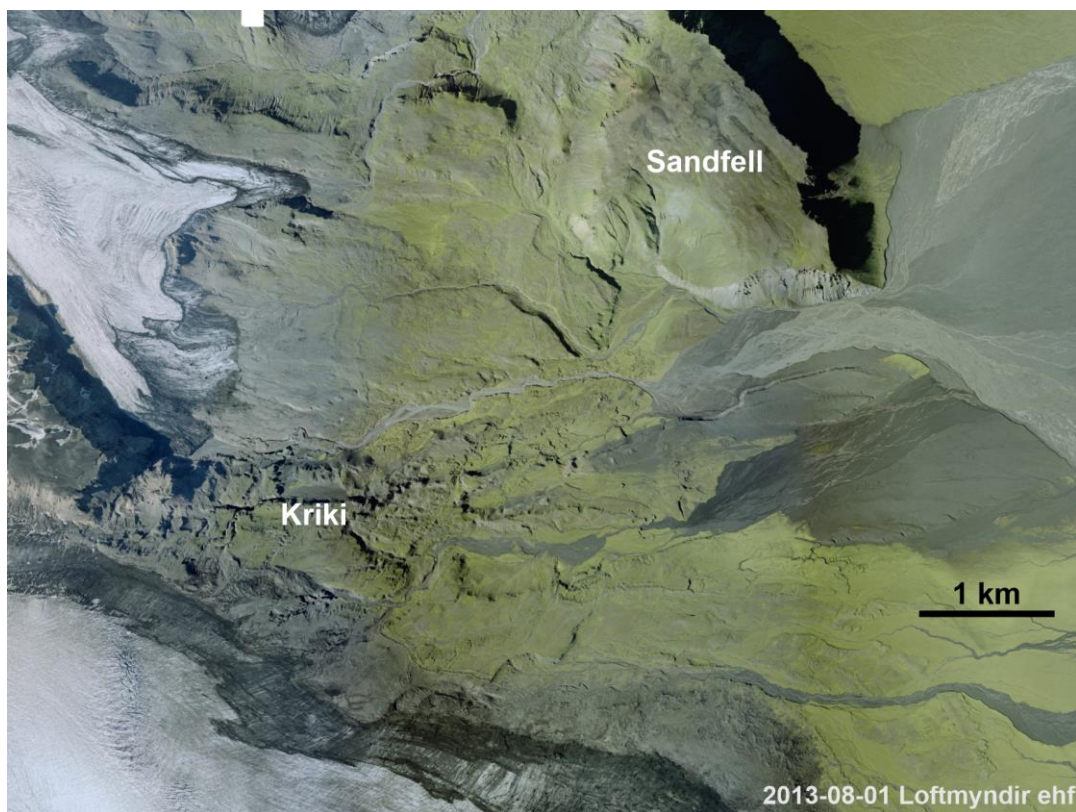
6. mynd. Loftmynd AMS frá 1946 af Krika og Sandfelli.



7. mynd. Loftmynd LMÍ frá 1984 af Krika og Sandfelli.



8. mynd. Loftmynd LMÍ frá 1992 af Krika og Sandfelli.



9. mynd. Loftmynd Loftmynda ehf frá 2013 af Krika og Sandfelli.

2. tafla. Reiknað afrennsli af jökli og landinu framan við hann að Sandfelli (4. mynd).

úrcoma (m/ár)	meðaltal (m/ár)	flatarmál (km ²)	Reiknað afrennsli (GI)	Afrennsli frá jökli (GI)	Afr. utan jökuls (GI)
3-3.5	3.25	2.57	8.35	-	8.35
3.5-4	3.75	3.59	13.46	-	13.46
4-4.5	4.25	3.33	14.15	-	14.15
4.5-5	4.75	3.77	17.91	-	17.91
5-5.5	5.25	5.68	29.82	29.82	-
5.5-6	5.75	6.66	38.30	38.30	-
6-6.5	6.25	12.48	78.00	78.00	-
6.5-7	6.75	4.33	29.23	29.23	-
Samtals		42.41	229.22	175.34	53.88

Þróun farvega 1945-2013

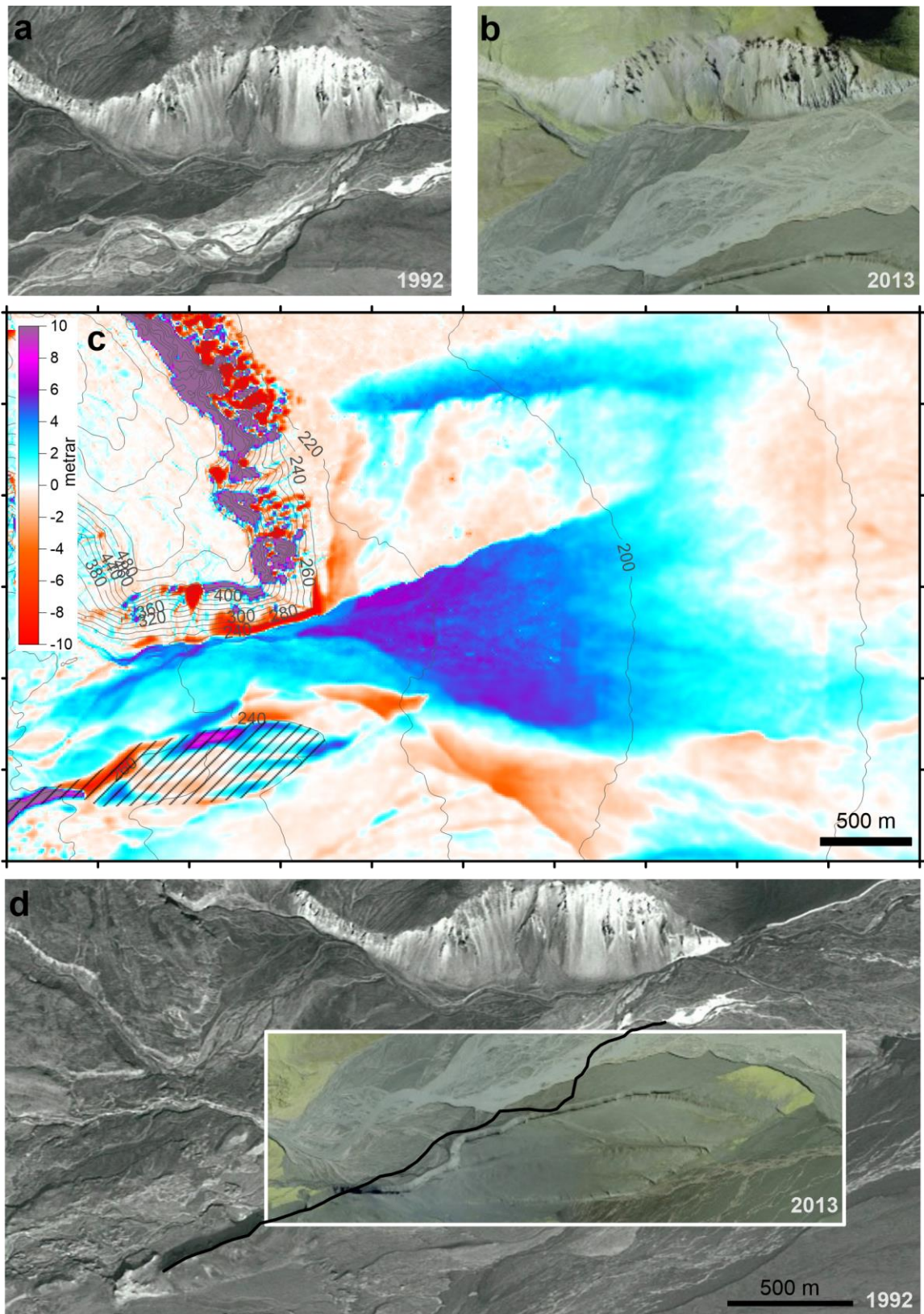
Samanburður loftmynda 1946, 1984 og 1992 (5.-7. mynd) sýnir ekki mikla breytingu í stærð og umfangi farvegarins við Sandfell eða aurkeilunnar austan þess. Suðurhlíð Sandfells er svipuð að sjá á öllum loftmyndunum. Hinsvegar sýnir loftmyndin frá 2013 (9. mynd) að mikil breyting hefur orðið þar sem farvegurinn sunnan Sandfells hefur víkkað og aurarnir austan þess eru orðnir meiri um sig en á eldri myndunum.

Á 10. mynd er tekin saman sú breyting sem orðið hefur á tímabilinu milli myndanna, frá 1992 til 2013. Á loftmyndunum efst (10a og b) sést vel að töluvert rof hefur orðið í neðanverðum hlíðum Sandfells að sunnanverðu. Klettur sjást vel í miðri hlíð á myndinni frá 2013 og austast sést klettabelti neðan til sem ekki er sýnilegt á myndinni frá 1992. Jafnframt hefur farvegurinn víkkað verulega með rofi bakkanna að sunnanverðu. Kortið (10c) sýnir vel að aurkeilan sem myndaðist á tímabilinu er víða 5-7 m þykk og teygir sig um 3 km austur fyrir Sandfell. Nákvæmni kortsins frá 1997 setur þó samanburðinum skorður og því ekki hægt að nota mismun kortanna til að mæla breytinguna í bökkunum. Á 10. mynd d er loftmyndin frá 2013 lögð ofan á myndina frá 1992. Svarta línan sýnir hvar bakkinn lá 1992 og augljóst að hann hefur rofist verulega. Andspænis Sandfelli vestanverðu, þar sem bakkinn er 15-20 m hár, hefur 50-100 m breitt svæði rofist burtu á um 500 m kafla. Þar austan við er álíka langur kafli þar sem rofið nemur 25-50 m. Loks er svo 500-600 m langur kafli þar sem 200-300 m breið spilda hefur rofnað, en bakkinn var mun lægri á því svæði, á bilinu 3-8 m.

Á ljósmyndinni 29. ágúst 2009 (3. mynd a) sést vel að virkt rof er í gangi á þessum tíma í bakkanum (punktalínan sýnir legu brúnarinnar áður en rofið hófst að ráði eða ~1996). Á 3. mynd b sem tekin var 26. júní 2017, er áin horfin frá bakkanum, rennsli árinna var miklu minna en í lok ágúst 2009 og engin merki sjást lengur um virkt rof á bakkanum.

Setflutningar

Rúmmál aurkeilunnar (mismunur kortanna 2013 og 1997) á því svæði sem áin hefur runnið yfir á tímabilinu, að mestu blátt á kortinu á mynd 10c, er 9 milljón m³. Syðst á svæðinu hefur orðið rof og landið lækkað um 1-2 m að jafnaði. Það efni sem þar var numið í burtu hefur flust til suðausturs og m.a. fyllt eldri farveg frá Kötlujökli sem sést sem ljósblátt og blátt svæði í suðausturhorni kortsins. Ljóst er að efni hefur á sama tíma horfið úr suðurhlíð Sandfells og úr setbökkunum sunnan farvegarins. Úr suðurhlíðum Sandfells hafa rofist 1-2 milljón m³ og um 2 milljón m³ úr bökkunum að sunnanverðu.



10. mynd. Þróun Leirár og nágrennis við Sandfell 1992 til 2013. (a) og (b) sýna Sandfell og farveginn, (c) er mismunur hæðarlíkana 1997 og 2013. Skástrikaða svæði sýnir hvar samanburður hæðar er ónákvæmur. (d) sýnir rof suðurbakka farvegarins við Sandfell. Svarta línan er lega bakkans 1992.

Rof á þessum svæðum getur því aðeins skýrt 30-40% af því efni sem myndað hefur aurkeiluna. Þetta efni hlýtur að hafa komið niður farveg Leirár syðri. Hafi þetta efni komið fram á 15 ára tímabili (1995-2010) nemur það 0.2-0.25 millj. rúmmetrum á ári. Hafi það að stórum hluta komið fram á tímabili skráðra hlaupa í Leirá (1995-2000) nemur magnið um 0.7 millj. m³ á ári.

Skoðun farvegarins ofan auranna sýnir að áin rennur þar ofan á hrauni og breytingar í farvegum á síðustu árum hafa verið óverulegar. Orsakanna er því ekki að leita þar. Þá er aðeins einn þáttur eftir, það er aurburður og botnskriði í ánni.

Aurburður í Leirá

Í 3. töflu eru niðurstöður um mat á rennsli, magn svifaurs í bakkasýnum og mat á setflutningum Leirár syðri þegar mælingar voru gerðar. Í töflunni eru setflutningar metnir á hverjum stað út frá styrk svifaursins og rennsli árinna. Botnskriðið er talið nema 25-30% af svifaurnum (Esther Hlíðar Jensen o.fl. 2017).

Sé reiknað með að tölurnar sem fengnar eru ofan Sandfells séu dæmigerðar fyrir Leirá og notað rennslið sem metið var hér að ofan, fæst að áin flytji 150-200 þús. tonn á ári, sem næmi 0.1-0.12 millj. rúmmetra af seti með þurran eðlismassa 1500 kg/m³. Það tæki það ána 40-50 ár að flytja fram þá 5.5 m millj. rúmmetra sem upp á vantar til að skýra aurkeiluna ef þessar tölur væru dæmigerðar fyrir tímabilið. Aurkeilan er hinsvegar mynduð á 5-15 árum svo augljóst virðist að fleira þurfi að koma til.

Ef aurstyrkur í Leirá væri að jafnaði svipaður og í Múlakvísl eða að meðaltali 3 g/l (Svanur Pálsson og Guðmundur Vigfússon, 1991) tæki það Leirá 12 ár að flytja fram 5.5 milljón rúmmetra. Þetta kann að vera möguleg skýring, en að sama skapi er óraunhæft að áin setji af sér allan aurinn við Sandfell. Sennilegasta skýringin er að jökulhlaupin 1995-2000 hafi flutt með sér mikið set og eigi verulegan þátt í myndun aurkeilunnar. Jafnframt má búast við því að áin setji af sér verulegt efni þar sem hún breiðir mikið úr sér. Það gerist einmitt austan Sandfells.

Sýnið sem tekið er í farveginum sunnan Sandfells 6. júlí 2018 sker sig nokkuð úr hinum. Það er tekið ofarlega í farveginum sem Leirá syðri hefur verið að grafa niður í aurkeiluna á síðustu árum. Sama dag mældust aðeins 0.56 g/l innarlega í Krika. Háí styrkurinn í farveginum við Sandfell hlýtur því að eiga sér aðra orsök en þá að efnið berist sem svifaur með ánni frá jöklinum. Varast ber að draga of víðtækar ályktanir af einstökum sýnum, en þessi háa tala gæti verið vísbending um virkt rof í farveginum í gegnum aurkeiluna á þeim tíma þegar sýnið var tekið.

3. tafla. Mælingar á svifaur í Leirá, S-2 bakkasýni 2017 .og 2018

Dagsetning	Staður	Hnit	Rennsli m ³ /s	Svifaur g/l	Setflutningar* kg/s
2017-06-26	Norðurbakki Leirár við Sandfell	63°38.5' 18°46.3'	~15	0.81	16
2017-06-27	Á hrauni í Krika	63°38.0' 18°50.6'	~15	0.80	16
2018-07-06	Í farveginum sunnan Sandfells	63°38.1' 18°46.0'	~15	2.68	52
2018-07-06	Innarlega í Krika	63°37.7' 18°51.8'	~15	0.56	10

*Reiknað út frá rennsli, styrk svifaurs. Og bætt við 25% vegna botnskriðs



11. mynd. Sigkatlar 12, 11 og 10 í upptökum Sandfells- og Kötlujökla. Ketill 12 liggur á vatnasviði Leirár. Myndin er tekin 19. september árið 2000, einum og hálfum mánuði eftir hlaup í Leirá. Hæðin á botni katlanna var mæld í júlí og í september. Ketill 12 breyttist ekki milli mælinga. Hinsvegar lækkuðu bæði ketill 10 og 11 um 13 til 17 metra. Jarðhitavatn hefur því runnið undan þeim á tímabilinu. Ljós. ÞH.

Upptök jökulhlaupa

Nærtækasta skýringin á endurteknum hlaupum í Leirá syðri væri að upptökin séu í katlinum efst í Sandfellsjökli (katli 12). Reglulegt eftirlit úr lofti með sigkötlum í Mýrdalsjökli og öðrum vísbendingum um jarðhita við botninn hófst 1999 (Magnús T. Guðmundsson o.fl., 2007; http://jardvis.hi.is/myrdalsjokull_eftirlit_med_sigkotlum). Á þeim 20 árum sem liðin eru hefur ketill 12 verið að mestu stöðugur. Ólíkt sumum katlanna verða ekki reglubundnar breytingar sem rekja mætti til uppsöfnunar vatns yfir veturinn sem síðan rennur út á nokkrum dögum eða klukkustundum einhvern tíma á sumrinu. Stöðugleiki ketils 12 bendir til þess að úr honum sé sírennsli. Merki um jarðhitaáhrif voru í Leirá syðri í vettvangsferðunum, bæði 2017 og 2018 (dauf lykt, leiðni mældist um 160 $\mu\text{S}/\text{m}$ 2017), sem styður það að stöðugt leki úr katlinum. Öðrum kötlum er ekki til að dreifa í Sandfellsjökli.

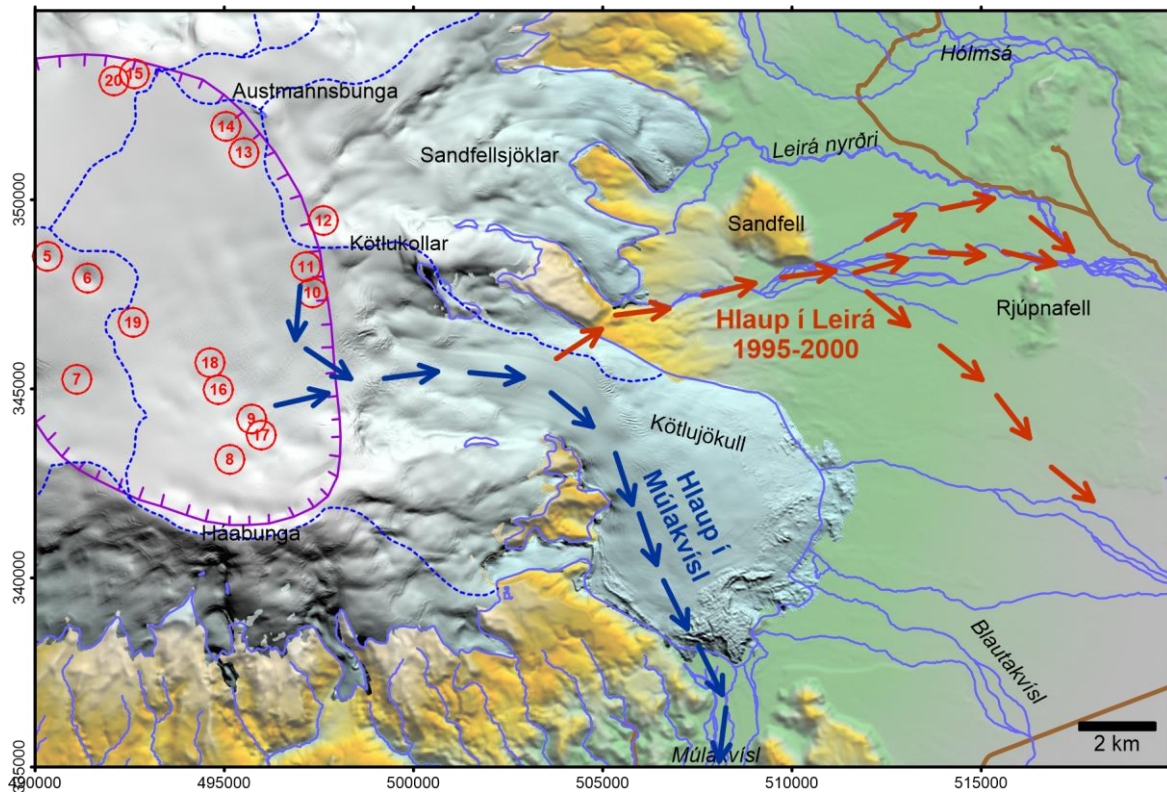
Hluti vatnsviðs Leirár syðri liggur í norðurhluta Kötlujökuls en nær þó ekki inn í öskjuna (4. mynd). Ákomusvæði Kötlujökuls innan öskjunnar er talið liggja á vatnasviði Múlakvíslar. Þar eru margir sigkatlar (1. mynd), þar á meðal upptakastaðir hlaupanna 1955 og 2011 auk þess sem gosstaðurinn 1918 var þar sem nú eru katlar 9, 16, 17 og 18. Katlar 10 og 11 hlupu í lok júní 1955 og hlaupið 2011 kom úr kötlum 16, 9, 18 og 10. Aðalfarvegur þessara hlaupa var um Múlakvísl. Að auki koma stundum smærri hlaup í Múlakvísl. Þegar þetta er skrifað (desember 2019) varð síðasta umtalsverða smáhlaupið af þeirri gerð um mánaðarmótin júlí-ágúst 2017.

Hlaup kom í Leirá 2. ágúst árið 2000 (2. tafla). Samanburður mælinga á kötlunum í júlí og september 2000 (http://jardvis.hi.is/myrdalsjokull_eftirlit_med_sigkotlum) sýnir að katlar 10 og 11 (11. mynd) sigu um 13-17 metra á tímabilinu meðan botnhæð ketills 12 var nánast óbreytt. Sigið í kötlum 10 og 11 samvarar því að 2-4 Gl af vatni hafi runnið undan þeim á tímabilinu, hugsanlega í hlaupinu 2. ágúst. Ekki eru til neinar mælingar á jöklinum frá árunum 1995-1999, þegar einnig urðu hlaup í Leirá. Í ljósi þess að ekki er hægt að sjá að hlaupin geti hafa átt upptök í Sandfellsjökli, er aðeins eftir sá möguleiki að þessi hlaup hafi komið úr Kötlujökli. Í þessu felst að á umræddu tímabili (1995-2000) hafi skapast þannig aðstæður undir jöklinum að hluti vatnsins hafi fundið sér leið til norðurs og farið um farveginn sem liggur upp við Klakksfjöll til Leirár (12. mynd). Hlaupin hafi átt upptök í einhverjum sigkatlanna í öskjunni, á ákomusvæði Kötlujökuls (1. mynd, 12. mynd). Er þá einkum hugsað til katla 9, 16, 17, 10 og 11. Þessi hlaup hljóta hafa verið töluvert minni en þau sem komu í Múlakvísl og Skálm 1955 og 1999. Þau gætu hafa verið svipuð smærri hlaupum sem komið hafa í Múlakvísl, t.d. hlaupið 2017. 12. mynd lýsir þessum tveimur tilfellum, þegar hlaup fara í Múlakvísl og þegar þau fara í Leirá.

Hlaupinu 1995 í Leirá er lýst þannig (1. tafla) að áin hafi verið dökk og leðjukennd. Hlaupin 1995-2000 hafa því að öllum líkindum flutt með sér verulegt magn af aur. Þá kann að vera að hluti venjulegs afrennslis jökulvatns að sumarlagi, sem oftast fer í Múlakvísl, hafi á þessum árum fallið til Leirár um farveginn við Klakksfjöll.

Atburðarásin gæti því hafa verið með eftirfarandi hætti:

- Á árinu 1995 eða aðeins fyrr, leitar hluti þess vatns sem kemur ofan frá Kötluöskjunni, ofanbráð og jarðhitavatn, upp að jaðri Kötlujökuls að norðan og yfir til Leirár syðri. Áin verður því mun stærri en þegar uppistaðan í rennslinu er jöklaleyting í Sandfellsjökli.
- Hlaup komu árlega á tímabilinu 1995-2000 og eiga þau upptök í sigkötluum í öskjunni. Hlaupin fara um farveg Leirár.
- Á þessum árum er aurburður í Leirá langt umfram það sem var áður og hefur verið síðan. Einkum eru hlaupin drjúg í að flytja fram efni.
- Setið sem berst fram byrjar að setjast til í farveginum við Sandfell, en einkum þar sem áin kemur út úr farveginum og breiðir úr sér austan fellsins. Þar myndast víðuáttumikil aurkeila.
- Vegna aukins rennslis vex rofmáttur Leirár mjög og hún flytur með sér laust set við Sandfell, úr bökkunum sunnan árinna og úr skriðunni sunnan í Sandfelli. Þetta efni sest til í aurkeilunni.
- Þegar aurkeilan hækkar fer það svo að lokum að áin slær sér til suðurs, flæmist um sandinn sunnan Rjúpnafells og endar í Skálm. Þessu ferli er fulllokið sumarið 2013, enda hefur Leirá syðri runnið þessa leið síðan.
- Um eða eftir 2000 dregur úr eða hættir rennsli vatns að mestu undan jöklinum upp við Klakksfjöll. Vatnið leitar aftur í farveg Múlakvíslar. Ekki er auðvelt að ákveða hvenær þetta gerðist.
- Þegar tekur fyrir rennsli vatns djúpt undan Kötlujökli til Leirár, dregur mjög úr setflutningum. Áin fer nú að grafa sig niður í aurkeiluna. Þar er nú kominn breiður og 5-8 m djúpur farvegur til suðausturs. Ekki eru horfur á að farvegur árinna breytist nema að aftur fari að koma vatn undan Kötlujökli í einhverjum mæli.



12. mynd. Áætlaðar rennisleiðir og upptök smærri hlaupa í Leirá og Múlakvísl vegna uppsöfnunar vatns undir jarðhitasigkötlu í Kötluöskjunnir.

Lokaorð

Þær breytingar sem lýst er hér að ofan undirstrika hve breytileg og kvik náttúran er á þessu svæði. Rennsli vatns undir jökli getur breyst auk þess sem breytingar verða í jarðhitavirkni. Einnig hefur hörfun jöklanna áhrif á farvegi leysingarvatns. Breytingarnar undirstrika líka mikilvægi þess að fylgst sé nægilega með ám og jöklum á þessu svæði, ekki eingöngu með eldgosavá í huga heldur líka farvegabreytingar sem mögulega geta sett hringveginn í hættu og valdið verulegum landspjöllum.

Breytingar hafa ekki aðeins orðið við Kötlujökul heldur einnig í ám sem eiga upptök norðar, Bláfjallakvísl og Jökulkvísl. Þar koma öðru hvoru fram ummerki um jarðhita og breytingar hafa orðið á rennlisháttum á síðustu árum (samkvæmt upplýsingum frá Jóhannesi Gissurarsyni á Herjólfstöðum).

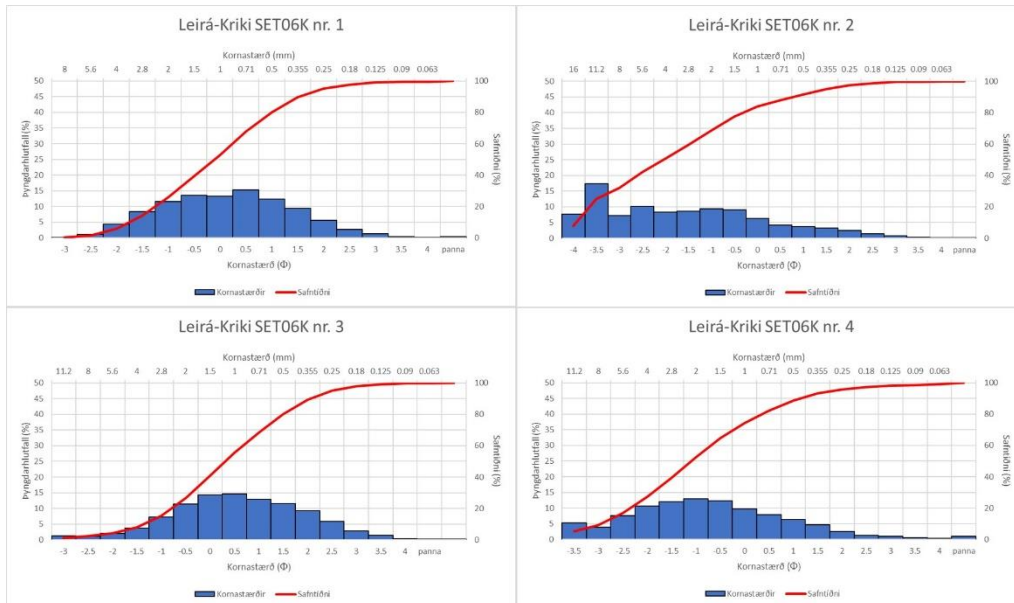
Þakir

Jóhannes Gissurarson á Herjólfstöðum hefur verið óspar á að miðla af þekkingu sinni á svæðinu sem og aðrir Álfhveringar. Rannsóknasjóður Vegagerðarinnar studdi rannsóknina. Finnur Pálsson og Eyjólfur Magnússon veittu upplýsingar um Kötlujökul og sigkatla.

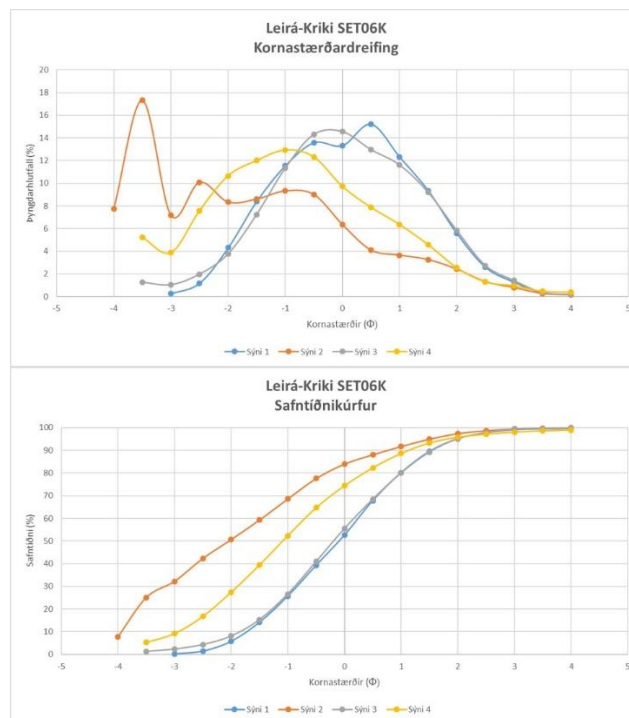
Heimildir

- Crochet, Philippe, Tómas Jóhannesson, Trausti Jónsson, Oddur Sigurðsson, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson og I. Barstad. 2007. Estimating the spatial distribution of precipitation in Iceland using a linear model of orographic precipitation. *J. Hydrometeorology*, 8, 1285-1306.
- Esther Hlíðar Jensen, Davíð Egilsson, Svava Björk Þorláksdóttir, Snorri Zóphóniásson og Gunnar Sigurðsson. 2017. Mælingar á aurburði og rennsli í Jökulkvísl árin 2015 og 2016. Veðurstofa Íslands VÍ-2017/015, ISSN 1670-8261. 50 bls. <https://www.vedur.is/media/vedurstofan-utgafa-2018/LV-2018-104.pdf>
- Gissur Þórður Jóhannsson. 2010. Aðeins meira um Mýrdalsjökul og nágrenni hans. *Blogg.is*: <https://gissurjoh.blog.is/blog/gissurjoh/entry/1113896/>
- Guðrún Larsen. 2000. Holocene eruptions within the Katla volcanic system, south Iceland: Characteristics and environmental impact. *Jökull*, 49, 1-28.
- Guðrún Larsen 1918. Kötluhlaup til austurs og suðurs frá Mýrdalsjökli I. Kötluhlaup eftir 1600: Umfang, hlaupleiðir, tjón og umhverfisbreytingar. Raunvísindastofnun Háskólans, RH-13-2018. 66 bls.
- Guðrún Larsen og Magnús T. Guðmundsson. (2019). Katla. Í: Bergrún A. Óladóttir, Guðrún Larsen og Magnús T. Guðmundsson. Íslensk eldfjallavefsjá. VÍ, HÍ og Avd-RLS. Sótt af <http://icelandicvolcanoes.is/?volcano=KAT>
- Haukur Jóhannesson, Kristján Sæmundsson og Sveinn P. Jakobsson, 1990. Jarðfræðikort af Íslandi, blað 6, Miðsuðurland, 3. útg. 1:250 000. Náttúrufræðistofnun Íslands og Landmælingar Íslands, Reykjavík.
- Helgi Björnsson, Finnur Pálsson og Magnús T. Guðmundsson. 2000. Surface and bedrock topography of Mýrdalsjökull ice cap, Iceland: The Katla caldera, eruption sites and routes of Jökulhlaups. *Jökull*, 49, 29-46.
- Helgi Björnsson og Finnur Pálsson. 2008. Icelandic glaciers. *Jökull*, 58, 365-386.
- Magnús T. Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir, Arnór Bergur Kristinsson og Snæbjörn Guðbjörnsson. 2007. Geothermal activity in the subglacial Katla caldera, Iceland, 1999-2005, studied with radar altimetry. *Annals of Glaciology*, 45, 66-72.
- Morgunblaðið, 9.8.1995. <https://www.mbl.is/greinasafn/grein/216160>.
- Oddur Sigurðsson og Bergur Einarsson. 2005. Jökulhlaupaánnáll 1989-2004. Orkustofnun OS-2005/31. 46 bls.
- Ríkisútvarpið. 13.7.2012. <https://www.ruv.is/frett/litid-hlaup-i-leira>.
- Sigurjón Rist. 1990. Vatns er þörf. Bókaútgáfa Menningarsjóðs. Reykjavík. 248 bls.
- Svanur Pálsson og Guðmundur Vigfússon. 1991. Niðurstöður svifaursmælinga 1963-1990. Orkustofnun, OS-91017/VOD-03B. 151 bls.

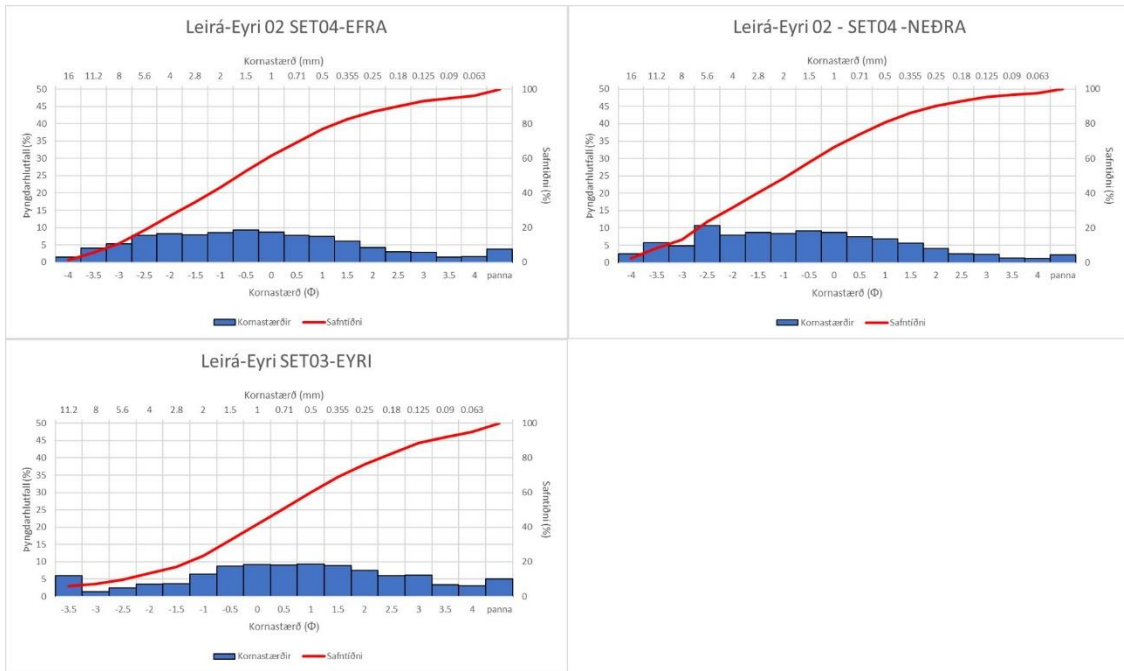
Viðauki 1: Niðurstöður sigtunar setsýna við Leirá, 26.-27. júní 2017



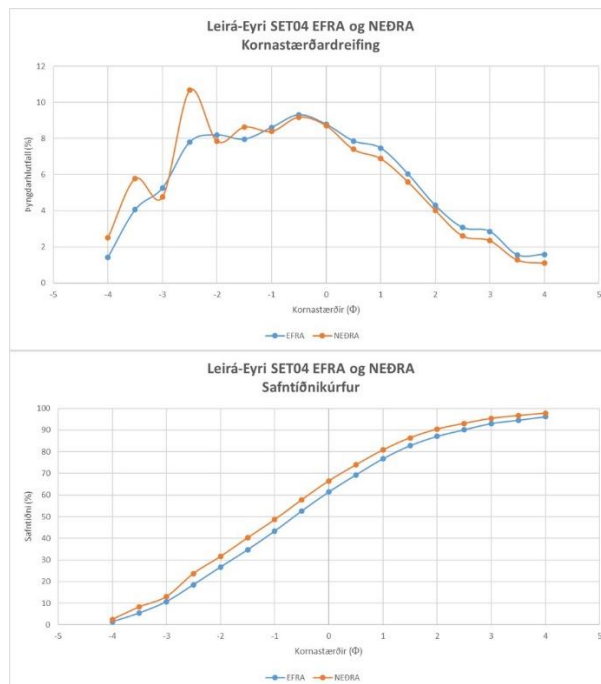
Mynd V1: Niðurstöður sigtunar sýnanna Leirá-Kriki SET06K 1-4. Sýni 2 var votsigtað á möskvastærð 0,063 mm og féll úr sýninu 0,4% af þyngd þess. Í sýni 3 voru 2 steinvölvur ódæmigerðar fyrir afgang sýnisins og voru þær mældar beint í stað þess taka þær til sigtunar.



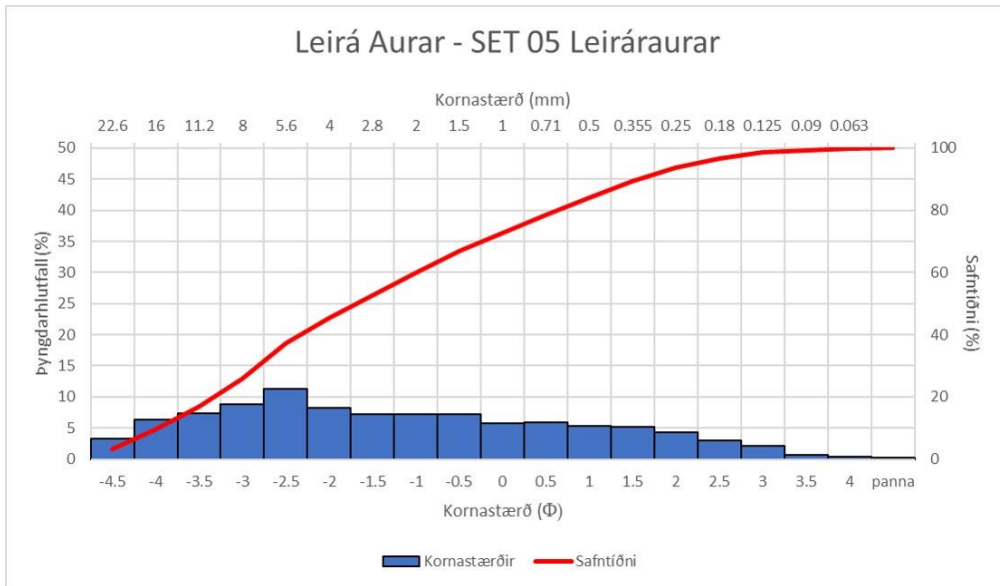
Mynd V2: Niðurstöður sigtunar sýnanna Leirá-Kriki SET06K 1-4 sameinaðar. Efri mynd sýnir kornastærðadreifingu allra sýnanna og neðri mynd sýnir safntíðnikúrfur þeirra.



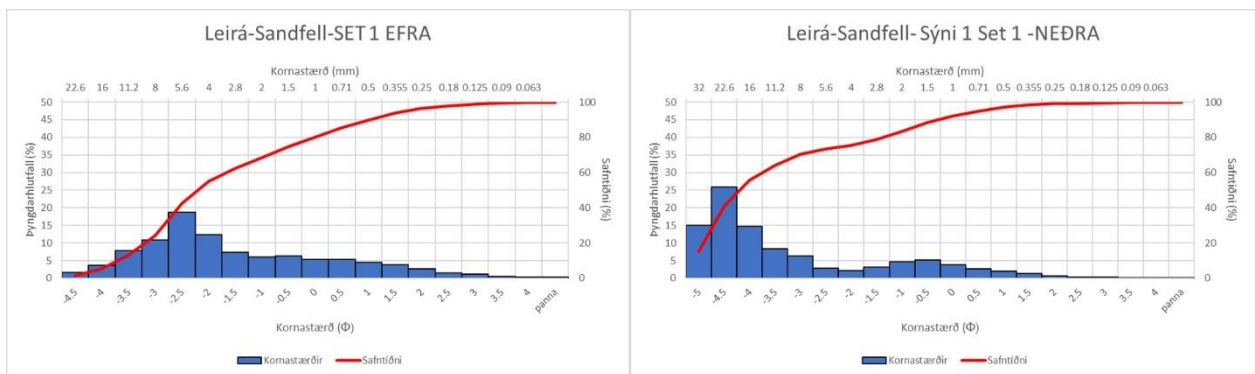
Mynd V3: Niðurstöður sigtunar á sýnum Leirá-Eyri. Í sýninu Leirá-Eyri Set 04 Neðra var 1 steinvalla mun stærri en annað í sýninu og var því mæld beint í stað þess að taka með til sigtunar. Í sýninu Leirá-Eyri SET03-Eyri voru 3 steinvölur sem einnig voru mældar beint.



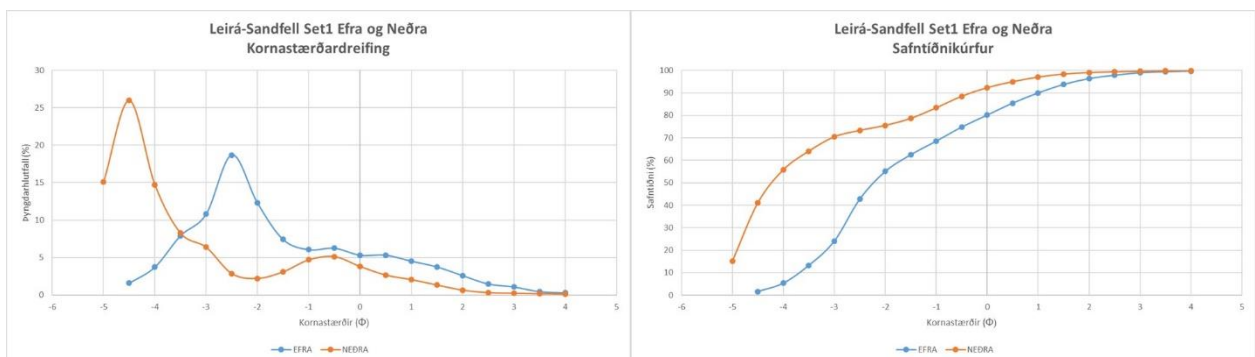
Mynd V4: Niðurstöður sigtunar sýnanna Leirá-Eyri Set04 Efra og Neðra. Efri mynd sýnir kornastærðadreifingu sýnanna og neðri mynd sýnir safntíðnikúrfur þeirra.



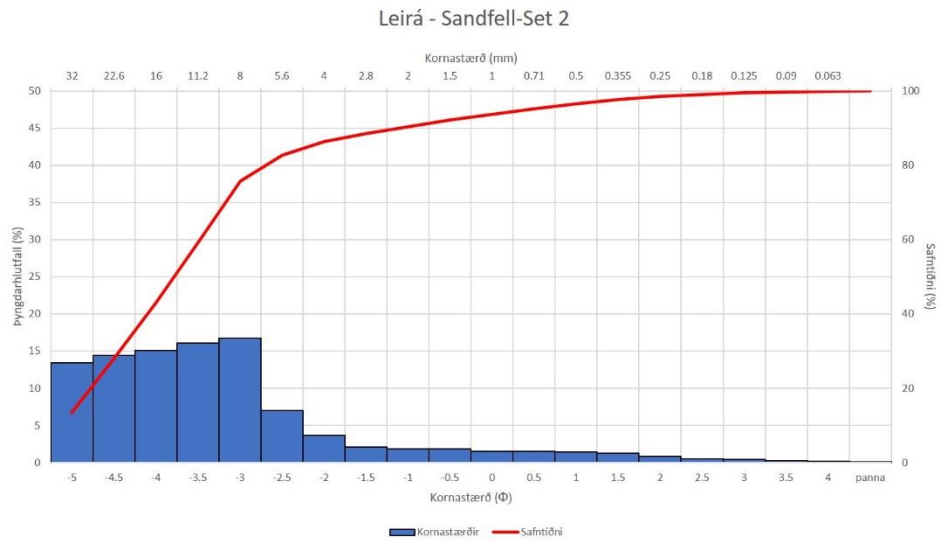
Mynd V5: Niðurstöður sigtunar sýnisins Leirá Aurar-Set 05 Leiráraurar. Í sýninu voru 7 steinvölur mun stærri en annað efni í sýninu sem voru því mældar beint í stað þess að taka þær með til sigtunar.



Mynd V6: Niðurstöður sigtunar sýnanna Leirá-Sandfell Set 1 Efra og Neðra. Neðra sýnið var votsigtað á möskvastærð 0,063 mm og féll 1% af upprunabyngd sýnis úr. Jafnframt voru 10 steinar af hnallungastærð sem voru mun stærri en annað efni sýnisins mældir beint.



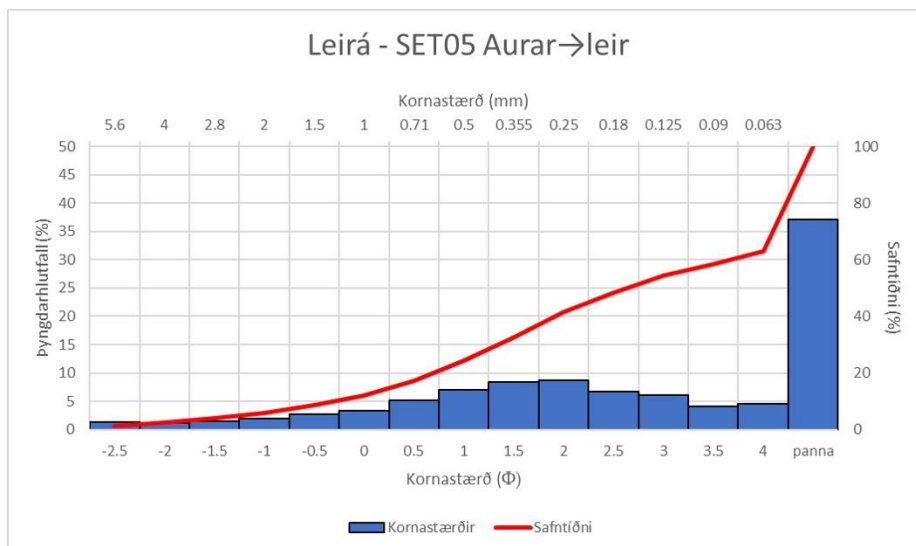
Mynd V7: Niðurstöður sigtunar sýnanna Leirá-Eyri Set04 Efra og Neðra. Vinstri mynd sýnir kornastærðadreifingu sýnanna og hægri mynd sýnir safntíðnikúrfur þeirra.



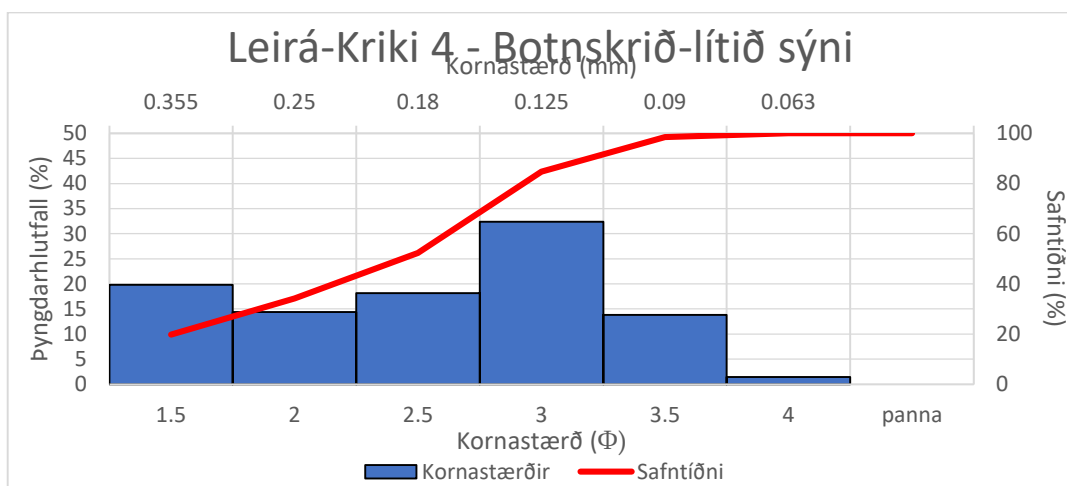
Mynd V8: Niðurstöður sigtunar sýnisins Leirá-Sandfell Set 2. Sýnið var votsigtað á möskvastærð 0,063 mm og féll úr sýninu 0,47% af þyngd þess.



Mynd 9: Niðurstöður sigtunar sýnisins Leirá-Kriki Set 06 Á hrauni. Sýnið var votsigtað á möskvastærð 0,063 mm og féll úr sýninu 2,5% af þyngd þess.



Mynd 10: Niðurstöður sigtunar sýnisins Leirá-Set 05 Aurar ->leir. Sýnið var votsigtað á möskvastærð 0,063 mm og féll úr sýninu 33,15% af þyngd þess.



Mynd 11: Niðurstöður sigtunar sýnisins Leirá-Kriki 4 - Botnskrið-lítið sýni.

Sýnatökustaðir, hnit.

Sýni	Staðsetning	Hnit	
SET01	Við Sandfell	63° 38,32'	18° 47,03'
SET02	Við Sandfell	63° 38,32'	18° 47,03'
SET03	Á eyri við Rjúpnafell	63° 36,90'	18° 42,13'
SET04	Á eyri við Rjúpnafell	63° 36,90'	18° 42,13'
SET05	Á aurum við Rjúpnafell	63° 36,90'	18° 42,13'
SET06	Botnskrið í Krika	63° 37,96'	18° 50,67'
SET06K	Setbunkar sunnan Leirár. 4 sýni, nr. 1 er neðst, nr 4 efst.	63° 37,92'	18° 48,25'