Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá

Útbreiðsla og flóðhæð Skaftárhlaupsins haustið 2015

Icelandic
Meteorological Office

Veðurstofa Íslands

Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá

Útbreiðsla og flóðhæð Skaftárhlaupsins haustið 2015

Emmanuel Pagneux, Bogi B. Björnsson og Davíð Egilson

Skýrsla

Veðurstofa Íslands
Bústaðavegur 7–9
108 Reykjavík

+354 522 60 00
vedur@vedur.is

VÍ 2018-004
ISSN 1670-8261

Veðurstofa Íslands

Lykilsíða

Skýrsla nr.	Dags.	ISSN	Opin ☒ Lokuð ☐
VÍ 2018-004	Júlí 2018	1670-8261	Skilmálar:

Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá: Útbreiðsla og flóðhæð Skaftárhlaupsins haustið 2015	**Upplag:** 25 **Fjöldi síðna:** 43 **Framkvæmdastjóri sviðs:** Jórunn Harðardóttir
Höfundar: Emmanuel Pagneux, Bogi B. Björnsson og Davíð Egilson	**Verkefnisstjóri:** Matthew J. Roberts **Verknúmer:** 3721-0-0006
Gerð skýrslu/verkstig: Lokaskýrsla	**Málsnúmer:** 2016-134

Unnið fyrir:
Ofanflóðasjóð

Samvinnuaðilar:

Útdráttur:

Útbreiðsla hlaupsins í Skaftá haustið 2015 var áætluð með því að klasagreina birtutölu myndeininga út frá uppréttum myndum (e. orthophotos) sem sýna hlaupið í hámarki eða ummerki um mestu flóðhæð. Niðurstöður voru sannprófaðar með GPS mælingum. Á svæðum þar sem klasagreining tókst ekki nægilega vel var útbreiðsla flóðsins reiknuð með samanburði á endurgerðum vatnshæðarfleti sem byggist á mældum flóðhæðum og landhæðum úr yfirborðslíkani; stuðst var við ArcticDEM landlíkan og leysimælingar á þrífæti. Á svæðum þar sem hvorki klasagreining né vatnshæðarlíkan gáfu sannfærandi niðurstöður var útbreiðsla flóðsins hnituð handvirkt.

Lykilorð: Skaftárhlaup, útbreiðsla, flóðhæð, ArcticDEM, TLS leysimælingar, klasagreining myndeininga, vatnshæðarlíkangerð, Sveinstindur, Hólaskjól, Skaftárdalur, Eldvatn, Flögulón, Skál, Dyngjur	**Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs:** **Undirskrift verkefnisstjóra:** **Yfirfarið af:** Sigurlaug Gunnlaugsdóttir, Tómas Jóhannesson, Oddur Sigurðsson

Efnisyfirlit

Myndaskrá ... 6
Töfluskrá ... 6
Kortaskrá ... 7
Ágrip ... 9
Abstract ... 9
1 Inngangur ... 11
2 Inntaksgögn ... 11
2.1 Flugkönnun ... 11
2.2 GPS mælingar ... 14
2.3 Landhæðarmælingar ... 16
2.3.1 ArcticDEM landlíkan ... 16
2.3.2 Leysimælingar ... 16
3 Aðferðir ... 18
3.1 Klasagreining myndeininga ... 18
3.2 Vatnshæðarlíkangerð ... 18
3.3 Handvirk hnitun ... 18
4 Niðurstöður ... 18
4.1 Skaftárbotnar ... 18
4.2 Sveinstindur ... 21
4.3 Hólaskjól ... 21
4.4 Skaftárdalur ... 21
4.5 Eldvatn ... 22
4.6 Flögulón ... 22
4.7 Skál ... 22
4.8 Dyngjur ... 22
5 Þakkir ... 41
6 Heimildir ... 41
6.1 Fræðirit ... 41
6.2 Gagnasett og fréttir af vefmiðlun ... 42
6.3 Kort ... 42

Myndaskrá

Mynd 1. Yfirlit yfir inntaksgögn verkefnis 13
Mynd 2. Ummerki flóðsins 2015 15
Mynd 3. TLS mælistaðir (gulir punktar), vatnshæðarmælir vhm 166 og mælt svæði 17
Mynd 4. Samanburður á hæðarskyggðu TLS landlíkani og ArcticDEM landlíkani 17
Mynd 5. Myndrænt yfirlit af klasagreiningu á birtutölu myndeiningu 19
Mynd 6. Samanburðarsýn yfir flóðsléttu milli Sveinstinds og Kamba 20
Mynd 7. Myndræn skýring á reikningi meðalgilda birtutalna 21
Mynd 8. Útbreiðsla Skaftárhlaupsins haustið 2015 við jaðar Skaftárjökuls 23
Mynd 9. Skaftárhlaupið við Lyngfell 24
Mynd 10. Skaftárhlaupið undir Sveinstindi 24
Mynd 11. Skaftárhlaupið við Hólaskjól 25
Mynd 12. Skaftárhlaupið við Skaftárdalsbrýr 25
Mynd 13. Skaftárhlaupið við Svínadal 26
Mynd 14. Skaftárhlaupið við Grófarárlón 26
Mynd 15. Skaftárhlaupið við Ytri-Ása 27
Mynd 16. Skaftárhlaupið við Flögulón 27
Mynd 17. Skaftárhlaupið við Skál 28
Mynd 18. Skaftárhlaupið við Dyngjur 28

Töfluskrá

Tafla 1. Staðir eða svæði sem skoðuð voru í verkefninu 12
Tafla 2. Yfirlit yfir skámyndir af flóðinu teknar dagana 2–3. október 2015. 12
Tafla 3. Yfirlit yfir stærð myndeininga eftir uppréttingu skámynda 12
Tafla 4. Samanteknar niðurstöður GPS vettvangsmælinga. 14
Tafla 5. Fastmerki sem stuðst var við og hnit þeirra. 15

Kortaskrá

Kort 1. Útbreiðsla og flóðhæðir við Sveinstind. 29
Kort 2. Útbreiðsla og flóðhæðir við Kamba. 30
Kort 3. Útbreiðsla flóðs við Kambagíga. 31
Kort 4. Útbreiðsla og flóðhæðir við Hólaskjól..... 32
Kort 5. Útbreiðsla og flóðhæðir við Skaftárdalsbrýr. 33
Kort 6. Útbreiðsla og flóðhæðir við Svínadal. 34
Kort 7. Útbreiðsla og flóðhæðir við Eldvatn (Grófarárlón). 35
Kort 8. Útbreiðsla og flóðhæðir við Ytri-Ása. 36
Kort 9. Útbreiðsla og flóðhæðir við Flögulón (1:20.000 m.v. A3 prentun)..... 37
Kort 10. Útbreiðsla og flóðhæðir við Flögulón (1:10.000 m.v. A3 prentun)..... 38
Kort 11. Útbreiðsla og flóðhæðir við Skál. 39
Kort 12. Útbreiðsla og flóðhæðir við þjóðveg 1 (Dyngjur). 40

Ágrip

Í þessu riti er gerð grein fyrir flóðhæð og útbreiðslu Skaftárhlaupsins haustið 2015 á nokkrum stöðum í farveginum. Staðir sem voru skoðaðar eru útföll hlaupvatns við jaðar Skaftárjökuls, svæði nærri rennslismælistað og helstu svæði þar sem Skaftárhlaup ógna mannvirkjum og ræktuðu eða grónu landi: Sveinstindur, Hólaskjól, Skaftárdalur, Eldvatn, Flögulón, Skál og Dyngjur.

Útbreiðsla flóðsins var áætluð að miklu leyti með því að klasagreina birtutölu myndeininga út frá uppréttum myndum (e. orthophotos) af flóðinu sem sýna hlaupið í hámarki eða ummerki um mestu flóðhæð. Niðurstöður greiningarinnar voru sannprófaðar með GPS mælingum, hundrað og átján flóðhæðir voru mældar inn í vettvangsmælingaferðum daganna 26.–28. apríl 2016 og 17.–18. ágúst 2016, auk samtals 1700 metrar af flóðförum. Á svæðum þar sem klasagreining tókst ekki nægilega vel var útbreiðsla flóðsins reiknuð út með samanburði á endurgerðum vatnshæðarfleti, sem byggist á mældum flóðhæðum og landhæðum úr yfirborðslíkani; stuðst við ArcticDEM landlíkan og leysimælingar af þrífæti. Á svæðum þar sem hvorki klasagreining né vatnshæðarlíkan gáfu sannfærandi niðurstöður var útbreiðsla flóðsins hnituð handvirkt í mælikvarða >1:1000 út frá túlkun á uppréttum ljósmyndum af flóðinu.

Kortlagning var unnin af mikilli nákvæmni til þess að bera hlaupið haustið 2015 saman við fyrri hlaup og afla gagna til þess að kvarða straumfræðilíkön af hlaupum í Skaftá sem nota má til að meta hættu af völdum Skaftárhlaupa í framtíðinni.

Abstract

An assessment of the impact of the autumn 2015 glacial outburst flood on Skaftá is presented in terms of inundation extent and water levels. Mapped regions include the proglacial areas near Skaftárjökull, gauging-station locations, and inhabited areas where glacial outbursts threaten lives, infrastructure and land: Sveinstindur, Hólaskjól, Skaftárdalur, Eldvatn, Flögulón, Skál and Dyngjur.

Mapping relied mostly on unsupervised image classification of orthorectified, sub-meter resolution imagery of the flood. Classification was validated against post-flood, field GPS measurements and supplemented, where needed, with water-stage modelling — terrestrial Lidar data and ArcticDEM digital elevation model were used — and manual mapping at scale > 1:1000 of wash limits.

The assessment was performed at high spatial resolution to enable comparisons with past/future events and help calibrating hydraulic models for the hazard assessment of glacial outburst floods on the Skaftá River.

1 Inngangur

Í þessu riti er gerð grein fyrir flóðhæð og útbreiðslu Skaftárhlaupsins haustið 2015 á nokkrum stöðum í farveginum. Staðir sem voru skoðaðar eru útföll hlaupvatns við jaðar Skaftárjökuls, svæði nærri rennslismælistað og helstu svæði þar sem Skaftárhlaup ógna mannvirkjum og ræktuðu eða grónu landi: Sveinstindur, Hólaskjól, Skaftárdalur, Eldvatn, Flögulón, Skál og Dyngjur (Tafla 1); þéttbýlið að Kirkjubæjarklaustri er ekki talið í hættu og var því ekki skoðað hér. Verkefnið var unnið í mikilli upplausn og nákvæmni til þess að bera hlaupið haustið 2015 saman við fyrri hlaup, afla gagna til þess að kvarða straumfræðilíkön af hlaupum í Skaftá (Matthías Á. Jónsson o.fl., 2018) og meta hættu af völdum Skaftárhlaupa í framtíðinni (Emmanuel Pagneux og fl., 2018; Esther H. Jensen o. fl., 2018). Vinnan er hluti af verkefni um hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá. Verkefnið er unnið í áfanga II í áætluninni Gosvá, heildaráhættumat vegna eldgosa á Íslandi.

2 Inntaksgögn

Myndir teknar úr lofti á meðan á flóðinu stóð auk land- og flóðhæðarmælinga voru notaðar til þess að greina og kortleggja hlaupið.

2.1 Flugkönnun

Dagana 2.–3. október tóku sérfræðingar Veðurstofu Íslands (VÍ) um 1600 stafrænar skámyndir af flóðinu úr lofti (Tafla 2). Áttatíu og fimm af þeim, sem sýna hlaupið í hámarki eða ummerki um mestu flóðhæð á áðurnefndum stöðum (Mynd 1), voru réttar upp og hnitsettar með sjónarhornsvörpun (e. projective transformation) og fjaðurbrúun (e. spline transformation). Sjónarhornsvörpun hentar vel við uppréttingu skámynda og var fyrsta skrefið til þess að ná nákvæmri og heildstæðri uppréttingu hverrar myndar. Fjaðurbrúun var síðan notuð á afmörkuðum svæðum innan mynda til það að betrumbæta niðurstöður sjónarhornsvörpunarinnar. Loftmyndaþjónusta *Loftmynda ehf* var notuð til þess að útbúa stýripunkta þar sem ákveðnir staðir á skámyndum voru tengdir við sömu hnitsettu staði í loftmyndaþjónustunni. Fjöldi stýripunkta innan hverrar skámyndar getur verið mjög breytilegur, allt frá 15–20 fyrir skámyndir með lítið yfirgrip upp í 90–120 fyrir myndir með mikið yfirgrip. Eftir uppréttingu og hnitsetningu var stærð myndeininga (greinihæfni) skámyndanna að jafnaði um 0,5·0,7 m (Tafla 3).

Tafla 1. Staðir eða svæði sem skoðuð voru í verkefninu.

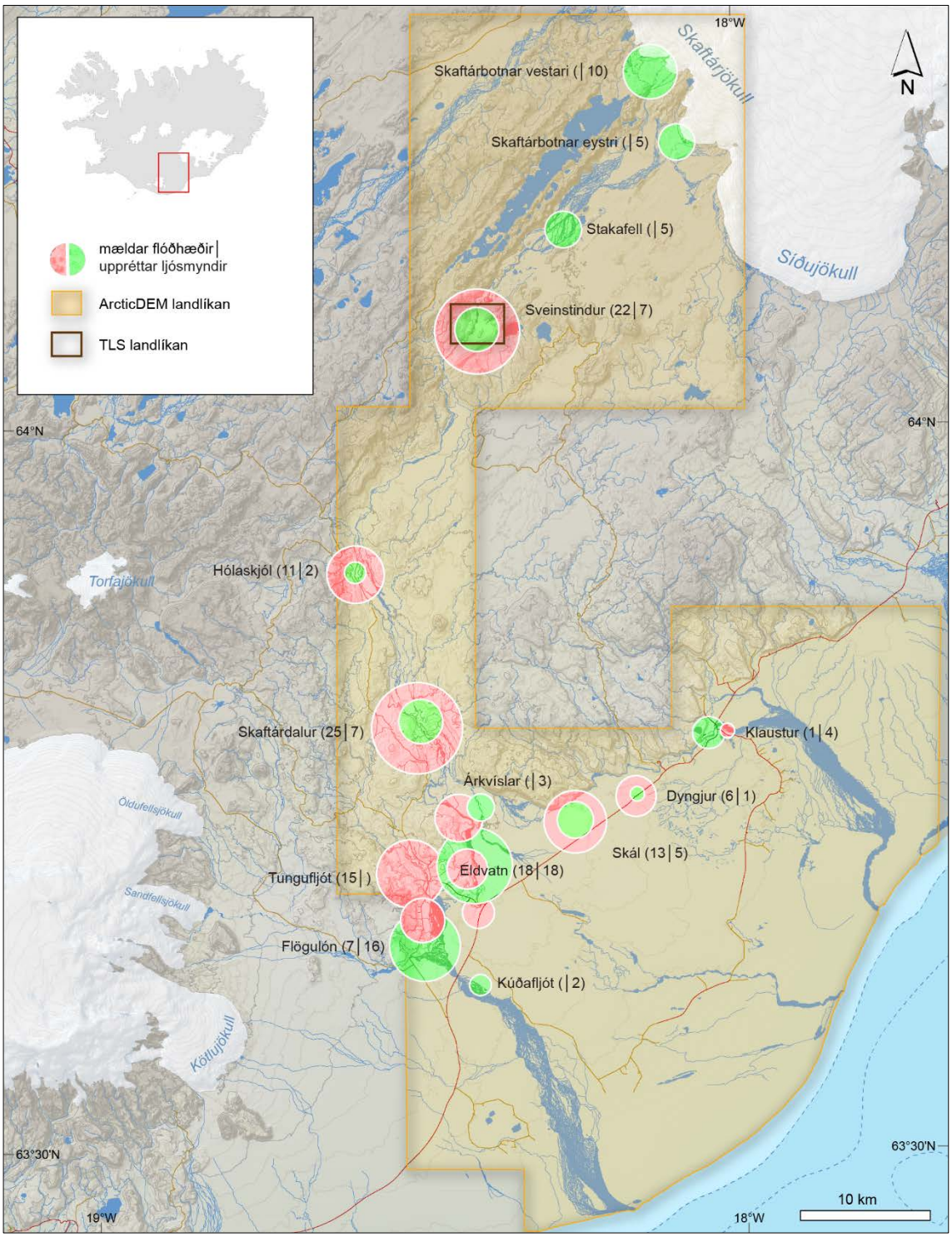
Svæði/Staður	Berskjaldaðar eignir
Sveinstindur	Mælistöð, skáli
Hólaskjól	Skálar
Skaftárdalur	Brýr, mælistöð, varnargarður
Eldvatn (Svínadalur, Grófarárlón, Ytri-Ásar)	Frístundahús, brú, varnargarður
Flögulón	Ræktað land
Skál	Íbúðarhús, útihús
Dyngjur	Þjóðvegur 1

Tafla 2. Yfirlit yfir skámyndir af flóðinu teknar dagana 2.–3. október 2015.

Tæki	Fjöldi	Dagsetning	Tími	Brennivídd	ISO
NIKON D3200	338	2.10.2015	07:58–14:11	18–55	100–800
Canon PowerShot G11	211		08:01–09:15	6–31	80–400
DMC-ZS7	461		09:18–14:06	4–49	80–800
Canon EOS 6D	271		10:23–11:40	28–50	100–800
Canon EOS 700D	19		10:32–11:16	18–56	100–400
Canon EOS 6D	158	3.10.2015	16:14–17:06	28–100	400–1600
Canon EOS DIGITAL REBEL XTi	157		16:15–17:06	18–55	400–800

Tafla 3. Yfirlit yfir stærð myndeininga eftir uppréttingu skámynda (n=85).

Stærð myndeininga	x	y
Lágmark	0,1	0,1
Hámark	1,7	3,4
Meðalstærð	**0,5**	**0,7**
Staðalfrávik	0,3	0,5



Mynd 1. Yfirlit yfir inntaksgögn verkefnis. Fjöldi mældra flóðhæða og uppréttra ljósmynda er sýndur í svigum. Kortagrunnur: Landmælingar Íslands.

2.2 GPS mælingar

Hundrað og átján flóðhæðir voru mældar inn í vettvangsmælingaferðum 26.–28. apríl 2016 og 17.–18. ágúst 2016 auk samtals 1700 metra af flóðförum (Tafla 4, Mynd 1). Til innmælinga á flóðhæðum var notast við Trimble R8 og 5800 GPS landmælingatæki en flóðför voru mæld með Garmin Montana 600 og 650 GPS handleiðsögutæki. Mælingar á flóðhæðum voru leiðréttar eftirá með samanburðargögnum úr GPS viðmiðunarstöðvum sem settar voru upp á þekktum fastmerkjum. Á láglendi var notast við Trimble 4700 GPS tæki í eigu VÍ sem sett var upp á tveimur mismunandi fastmerkjum, en á hálendinu, þar sem skortur er á innmældum fastmerkjum, var notast við gögn úr grunnstöð Landmælinga Íslands sem staðsett er á Kálfhóli (Tafla 5). Hæðar- og staðsetningarnákvæmni flóðhæða mældra með GPS landmælingatækjum, með eftirá leiðréttingu er að meðaltali ~5 cm. Gögn úr handleiðsögutækjum voru ekki leiðrétt frekar en staðsetningarnákvæmni flóðfara sem mæld eru með þeim tækjum er að meðaltali ~2 m.

Ummerki flóða eru oftast greinanleg sem línulegt brak í landslaginu, sem samanstendur af ýmsu lauslegu sem flýtur ofan á og með flóðvatninu, skolast á land og verður eftir í hæstu flóðmörkum þegar vatn tekur að sjatna. Á láglendinu var aðallega um að ræða mosa, smágreinar og laufblöð ýmissa víðis- og lyngtegunda (Mynd 2a). Á svæðinu við Hólaskjól, fundust grasstrá og lambaspörð (Mynd 2b). Við Sveinstind var aðallega um að ræða smágreinar sem reyndust að jafnaði vera um 40–45 cm ofar í landslaginu en þekja af fínkornóttum aur (Mynd 2c) sem flóðið bar með sér og fannst víða á stóru svæði.

Tafla 4. Samanteknar niðurstöður GPS vettvangsmælinga.

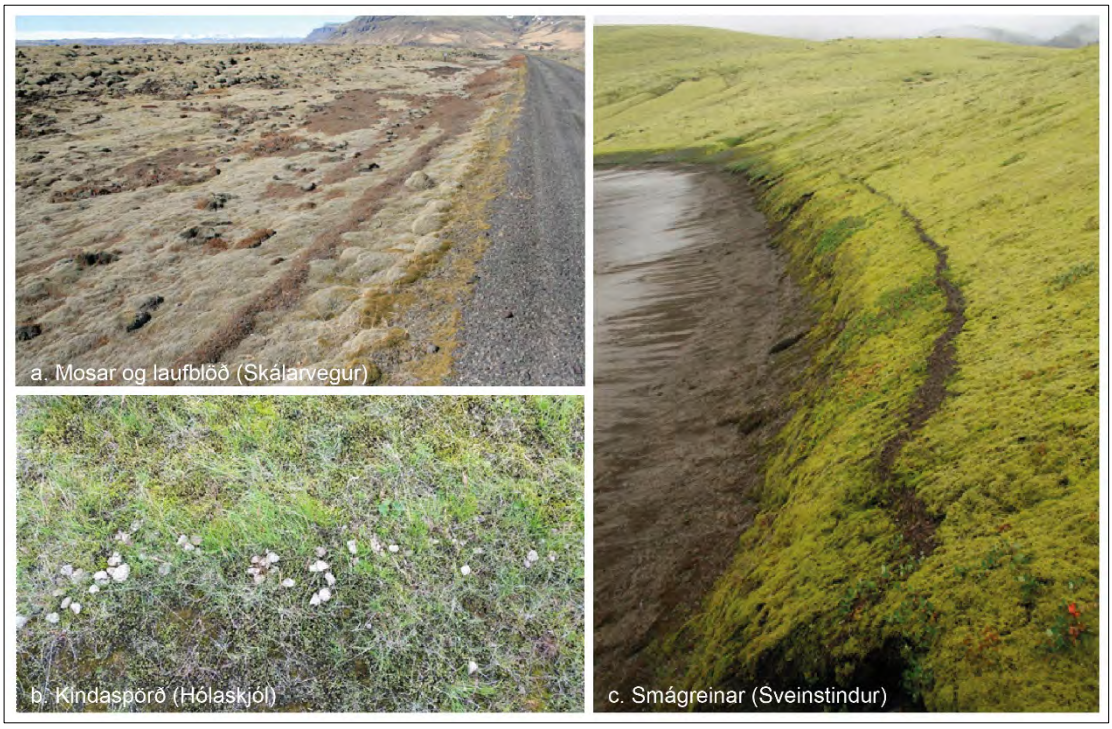
Svæði	Flóðhæðir (x,y,z)*	Flóðför (x,y)**
Láglendi (26.–28. apríl 2016)	85	1415
Dyngjur	6	63
Eldvatn	18	54
Flögulón	7	-
Tungufljót	15	700
Klaustur (flugvöllur)	1	-
Skaftárdalur	25	548
Skál	13	50
Hálendi (16.–18. ágúst 2016)	33	284
Hólaskjól	11	33
Sveinstindur	22	251
Samtal	118	1699

* Fjöldi; ** Heildarlengd, í metrum.

Tafla 5. Fastmerki sem stuðst var við og hnit þeirra.

Fastmerki	Lengd	Breidd	Hæð (m)	Svæði
OS5845	N63°40'51.37241"	V18°26'54.10624"	173,829	Láglendi
VR9310690	N63°43'29.46670"	V18°13'35.56909"	149,609	Láglendi
KALF	N63°56'50.38556"	V17°41'19.93921"	142,766	Hálendi

Lengd, breidd og sporvöluhæð miðað við sporvölu WGS84.



Mynd 2. Ummerki flóðsins 2015 við veginn heim að Skál (a), Hólaskjól (b) og Sveinstind (c). Ljósmyndir teknar af Emmanuel Pagneux 26. apríl 2016 (a, b) og 18. ágúst 2016 (c).

2.3 Landhæðarmælingar

Við vatnshæðarlíkanagerð (§3.2) var stuðst við ArcticDEM landlíkan (Polar Geospatial Center, 2016) og leysimælingar á þrífæti (e. terrestrial laser scanning, skammstafað TLS).

2.3.1 ArcticDEM landlíkan

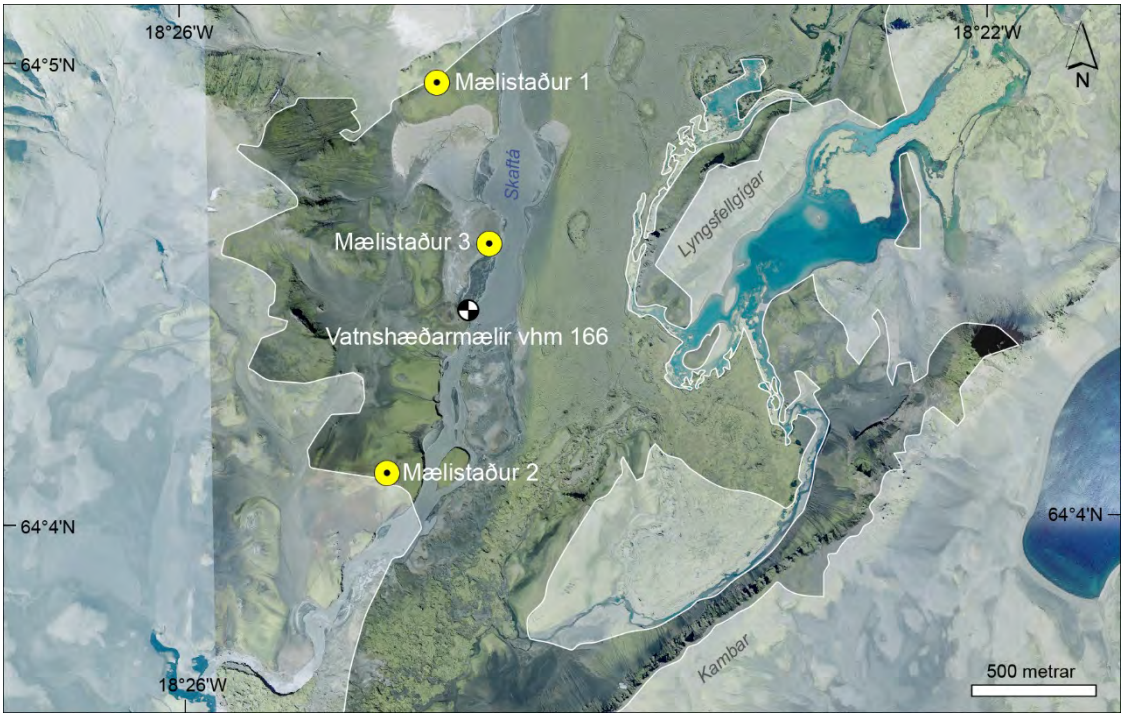
Líkanið nær til alls norðurheimskautssvæðisins í 2x2 m upplausn, unnið upp úr WorldView gervitunglamyndum í samstarfi ýmissa bandarískra aðila. Líkanið er aðgengilegt til niðurhals sem mismunandi langar ræmur af ákveðinni breidd og fyrir ákveðnar dagsetningar en hver ræma er byggð á pörum gervitunglamynda. Hver ræma getur þakið allt frá 1 til 3200 km^2 en flestar myndirnar sem notaðar voru fyrir Ísland eru frá árunum 2009 til 2015.

Fyrir athugunarsvæði verkefnisins voru allar aðgengilegar ræmur, sem skarast við það, skoðaðar og gæðametnar sjónrænt með tilliti til snjóalaga, yfirgrips og ýmissa annarra villna og annmarka. Niðurstaðan var að valdar voru samtals 20 ræmur úr útgáfu 3.0 af ArcticDEM sem settar voru saman í eitt samfellt landlíkan. Fyrir samsetningu var hver ræma leiðrétt í staðsetningu og hæð með leiðréttingastuðlum sem fylgja hverri ræmu. Leiðréttingastuðlarnir byggja á samanburði ræmunnar við mældar landhæðir úr IceSAT gervihnöttum NASA. Staðsetningar- og hæðarnákvæmni gagnanna, eftir þá leiðréttingu, er að jafnaði ~1 m. Landlíkanið var loks umreiknað yfir í Landshæðarkerfið 2004 með því að draga frá lágflatarfrávik reiknað af Landmælingum Íslands (2011).

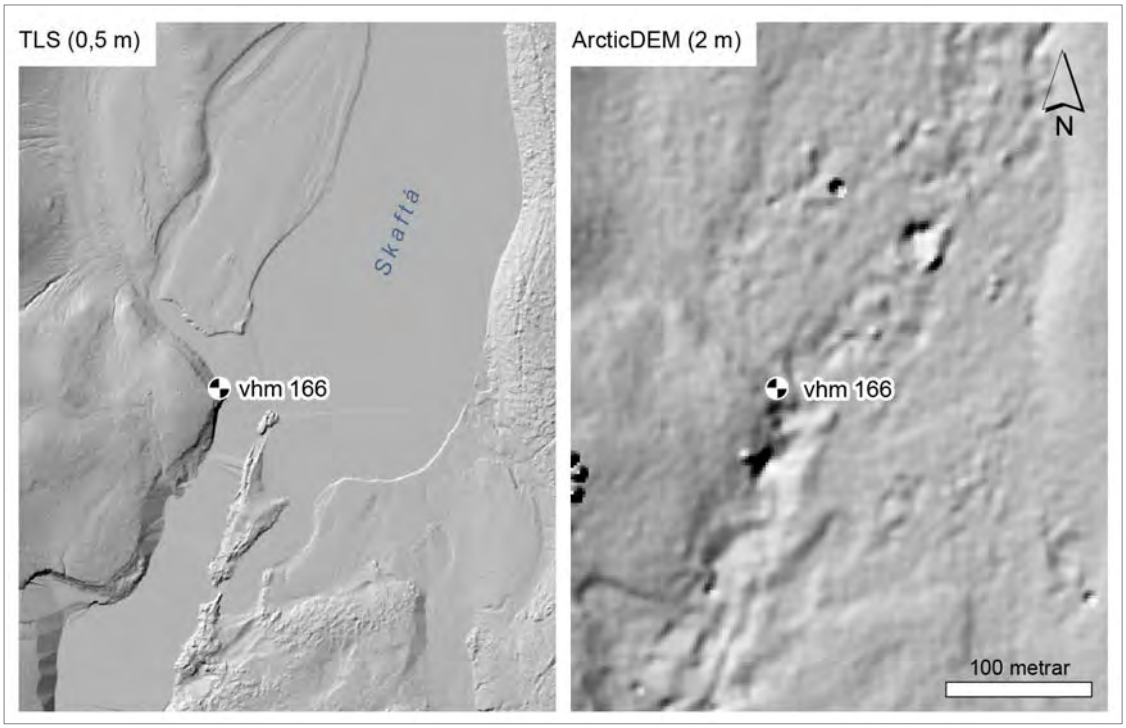
2.3.2 Leysimælingar

TLS leysimælingar á farvegi Skaftár í nágrenni við vatnshæðarmæli vhm 166, milli Sveinstinds og fjallgarðsins Kamba, voru gerðar í vettvangsferð 17.–18. ágúst 2016. Notað var mælitæki af gerðinni RIEGL ZV-6000 sem VÍ áskotnaðist í ársbyrjun 2016, í samstarfi við ýmsar aðrar stofnanir og fyrirtæki.

Stillt var upp og mælt frá þremur stöðum og reynt að gæta að því að mælingar næðust af allri flóðsléttunni (Mynd 3). Fyrir utan nokkra staði sem ekki voru sýnilegir tækinu, náðist það markmið. Nákvæm GPS staðsetning mælitækisins á hverjum mælistað var mæld með Trimble R8 GPS landmælingatæki í hvert sinn. Unnið var úr mælingunum í hugbúnaðinum RiSCAN PRO, sem framleiddur er af sama aðila og mælitækið og gerður til þess að vinna úr mæligögnum úr TLS tækinu. Vinnslan fólst m.a. í að tengja staðsetningu mælipunkta við mæld GPS hnit tækisins í hverjum mælistað, samræma innbyrðist staðsetningu mælipunkta frá mælistöðunum þremur og fjarlægja villur og nokkur mannvirki sem voru á svæðinu. Loks var útbúið reglulegt punktaský með upplausninni 0,5 m og það flutt út sem LAS skrá til frekari úrvinnslu og landlíkangerðar í landupplýsingakerfinu ArcGIS. Endanlegt landlíkan var útbúið með því að umbreyta LAS punktaskránni í rastagögn og draga lágflatarfrávik frá mældri hæð til þess að fá út hæð yfir sjávarmáli í Landshæðarkerfinu 2004. Hæðarskygging sýnir að gæði TLS landlíkansins eru talsvert betri en ArcticDEM á þessu svæði (Mynd 4) enda upplausnin mun meiri.



Mynd 3. TLS mælistaðir (gulir punktar), vatnshæðarmælir vhm 166 og mælt svæði (óskyggt). Myndkort: Loftmyndir ehf.



Mynd 4. Samanburður á hæðarskyggðu TLS landlíkani (með lagfærðum farvegi Skaftár) og ArcticDEM landlíkani (farvegur Skaftár ólagfærður) við vhm 166.

3 Aðferðir

3.1 Klasagreining myndeininga

Útbreiðsla flóðsins var áætluð að miklu leyti með því að klasagreina birtutölu myndeininga samkvæmt Jenks bestun (Jenks, 1967), og einangra og vista birtutöluklasa sem eru túlkaðir sem flóðasvæðið að mati sérfræðinga (e. unsupervised image classification). Klasagreiningu var aðallega beitt á uppréttar myndir af flóðinu sem teknar voru dagana 2.–3. október 2015 (Mynd 5). Greinihæfni kortlagningarinnar er nærri rastaupplausn eftir uppréttingu, þ.e. ~0,5 metri að meðaltali (sjá §2.1). Niðurstöður greiningarinnar voru sannprófaðar með GPS mælingum þar sem það var mögulegt (sjá 2.2).

Fyrir svæðið nálægt Sveinstindi var klasagreiningu einnig beitt á rastamynd með 0,5 m upplausn af endurkasti leysimælinganna sem gerðar voru 18. ágúst 2016 (Mynd 6). Þegar uppréttar myndir voru notaðar var greiningunni beitt á meðalgildi birtutalna úr rauðu, grænu og bláu bandi (Mynd 7).

3.2 Vatnshæðarlíkangerð

Á svæðum þar sem ekki tókst að klasagreina birtutölu myndeininga nægilega vel var útbreiðsla flóðsins reiknuð út með samanburði á endurgerðum vatnshæðarfleti, sem byggður er á mældum flóðhæðum og landhæðum úr yfirborðslíkani (Pagneux og Snorrason, 2012). Í útreikningunum er flóðhæð annað hvort mæld á vettvangi eða áætluð út frá flóðamyndunum, samkvæmt ArcticDEM landlíkani eða TLS-mælingunum (sjá §2.3). Upplausn kortlagningar er samkvæmt yfirborðslíkani, þ.e 2 metrar með ArcticDEM og 0,5 metrar með TLS-líkani.

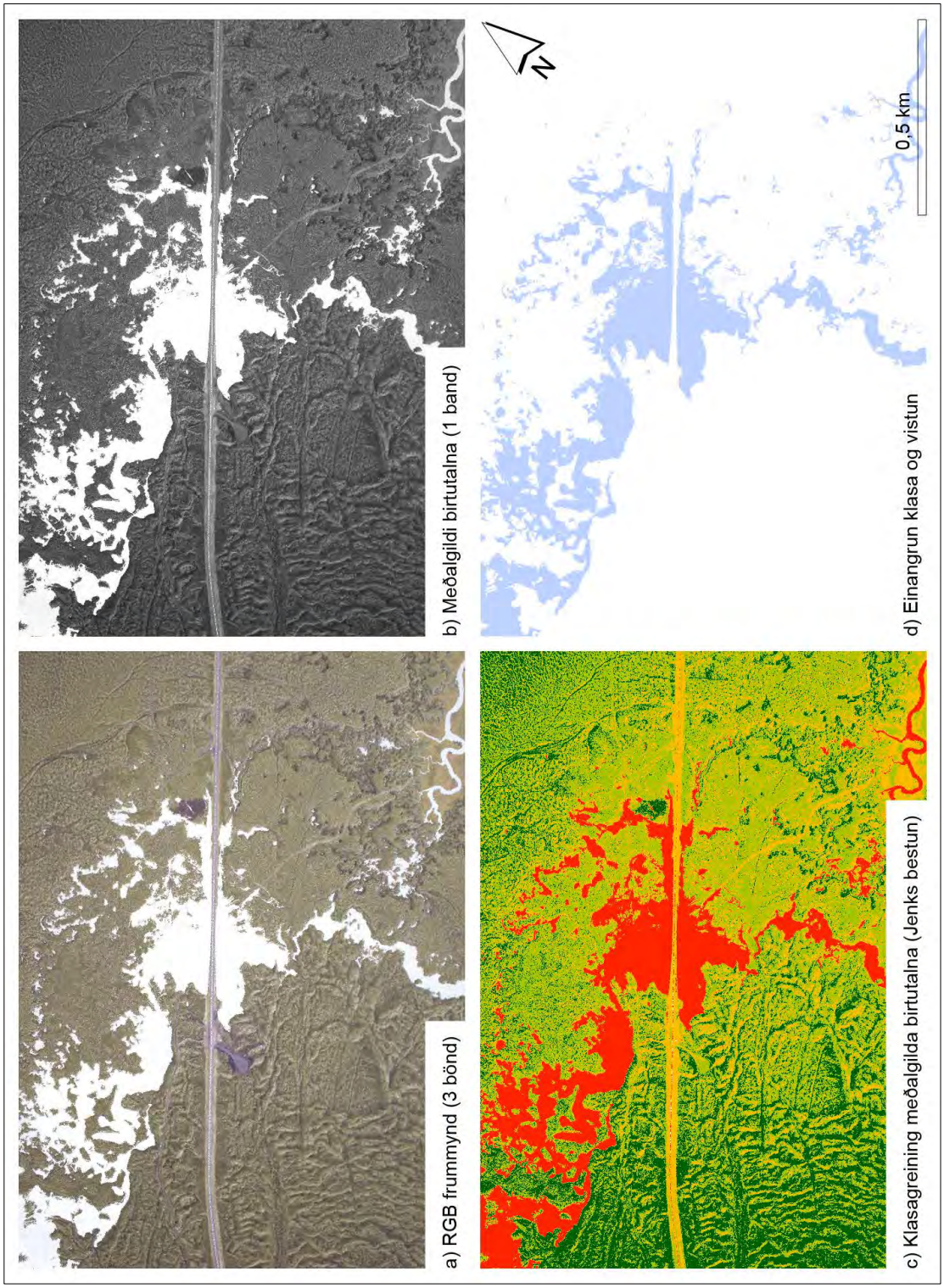
3.3 Handvirk hnitun

Á svæðum þar sem hvorki klasagreining né vatnshæðarlíkan gáfu sannfærandi niðurstöður var útbreiðsla flóðsins hnituð handvirkt í mælikvarða > 1:1000 út frá túlkun á óuppréttum og uppréttum ljósmyndum af flóðinu.

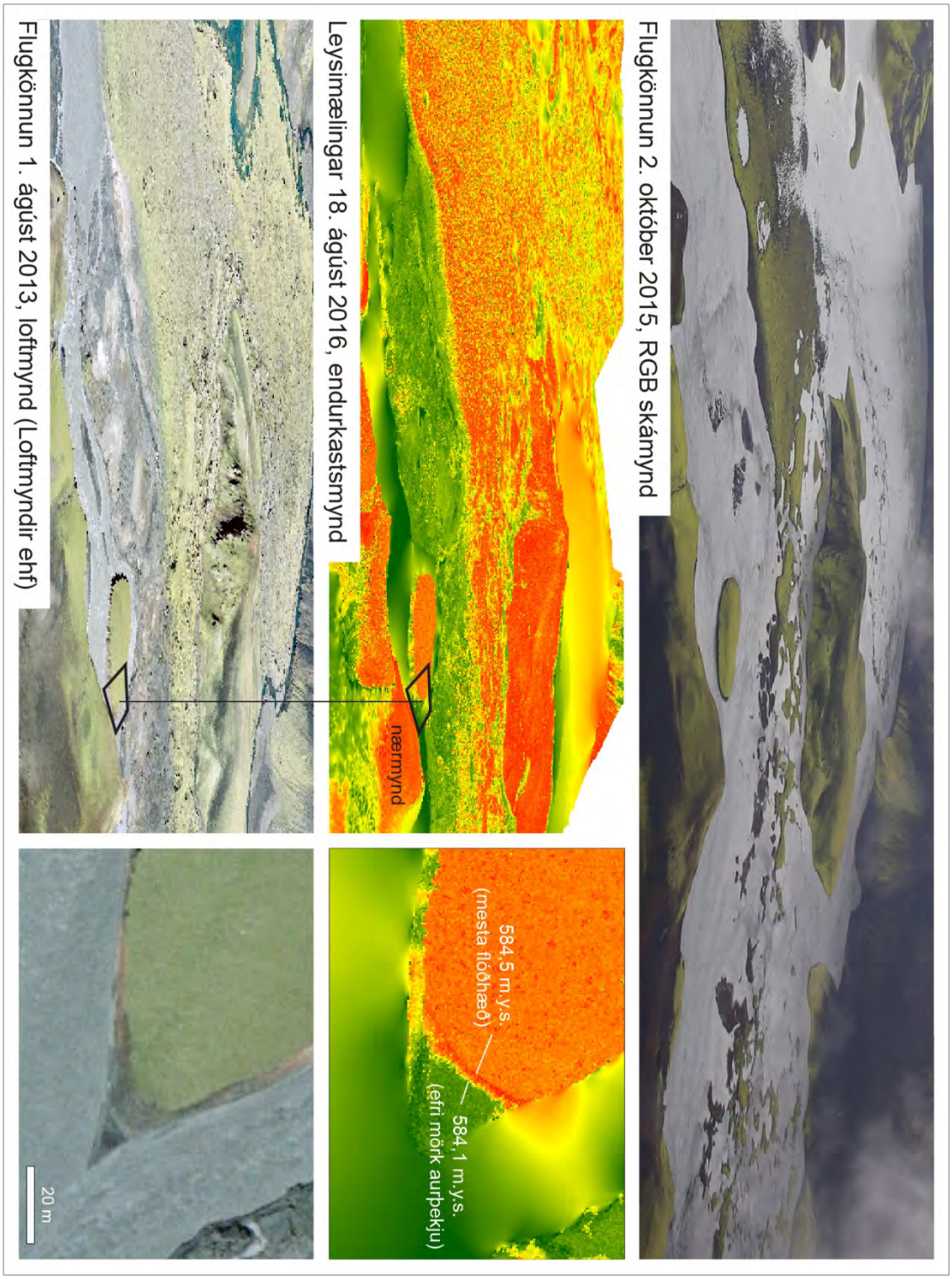
4 Niðurstöður

4.1 Skaftárbotnar

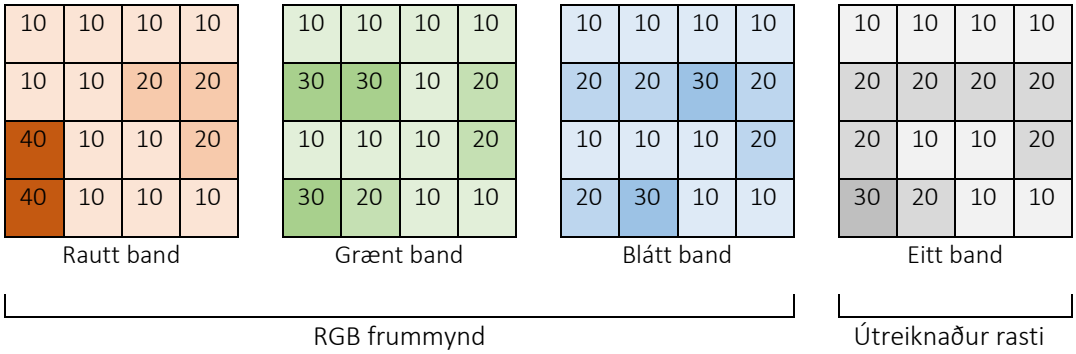
Ljósmyndir af flóðinu frá 2. október gefa til kynna að mest af hlaupvatninu hafi brotist undan Skaftárjökli inn af Langasjó (Mynd 8), í 665–675 metra hæð yfir sjó og á ~3,2 km breiðu svæði. Eitthvert jökulvatn kom fram í Skaftárbotnum eystri en hluti þess var sennilega ótengt jökulhlaupinu úr eystri katlinum.



Mynd 5. Myndrænt yfirlit af klasagreiningu á birtutölu myndeiningu og skilgreiningu klasa sem lýsa svæði sem fer undir vatn í flóði að mati sérfræðinga (e. unsupervised image classification).



Mynd 6. Samanburðarsýn yfir flóðsléttu milli Sveinstinds og Kamba í hlaupinu 2. október 2015 (Oddur Sigurðsson, efst), 18. ágúst 2016 (klasagreining á endurkasti leysimælingar, miðja) og 1. ágúst 2013 (Loftmyndir ehf, neðst).



Mynd 7. Myndræn skýring á reikningi meðalgilda birtutalna úr rauða, græna og bláa bandi frummyndar.

4.2 Sveinstindur

Við Lyngfell leitaði flóðvatn upp úr aðalfarveginum og flæddi út á Skaftáreldahraun (Mynd 9). Ofan Lyngsfellgíga flæddi því vatnið í þremur farvegum (Mynd 10, Kort 1). Eystri farvegirnir tveir ofan á Skaftáreldahrauninu sameinuðust við Kamba og rann flóðvatnið neðan þeirra í tveimur farvegum; annars vegar í meginfarvegi árinnar og hins vegar ofan á Skaftáreldahrauninu (Kort 2, Kort 3).

Hæsta vatnshæð í aðalfarveginum mældist 587,1 m.y.s. við Sveinstindsskála og þar flæddi inn í kjallara skálans. Hámarksvatnshæðin mældist 585,6–585,7 m.y.s. við víkina upp frá kláfnum þar sem rennslismælingarnar við vatnshæðarmæli vhm 166 eru gerðar. Samkvæmt ArcticDEM landlíkaninu hefur vatnshæð á Skaftáreldahrauninu verið ~588,6 m.y.s. á sömu breiddargráðu og mælirinn vhm 166, eða ~3 metrum hærri en vatnið í aðalfarveginum.

4.3 Hólaskjól

Fjallabaksleið nyrðri fór undir vatn á nokkrum köflum við Hólaskjól og lokaðist. Flóðvatn úr Skaftá flæddi inn eftir lækjarfarvegi sem liggur meðfram Hólaskjóli. Vatnið rann mjög nærri skálunum og náði inn að tjaldsvæðinu (Mynd 11). Hámarksvatnshæð mældist 317 m.y.s. milli skála og ármóta lækjarins og Syðri-Ófæru (Kort 4).

4.4 Skaftárdalur

Samkvæmt ArcticDEM landlíkaninu náði hlaupvatnið 224,3 m.y.s. í mýrinni sem liggur sunnan við Svartanúp þannig að einungis vatnaði 1,3 m á að það flæddi inn eftir farvegi Selár. Við Skaftárdal flæddi vatnið yfir brúna á eystri kvíslinni (Mynd 12) en vatnshæð ofan við brúna mældist ~160,1 m.y.s. (Kort 5). Flóðið náði 157,6 m.y.s. nálægt vatnshæðarmæli vhm 70. Rörið sem síritinn er í slitnaði og hann skemmdist. Þá urðu það miklar breytingar á mælistaðnum að allar líkur eru á að hann gefi ekki rétta mynd að rennsli þannig að mælirinn sé ekki lengur rennslisgæfur. Vatnshæð við vestari kvíslina var heldur minni eða um 156,7 m.y.s.. Garðurinn vestan við vestari brúna skolaðist burt en það hefur hann raunar ávalt gert í stærri flóðum.

4.5 Eldvatn

Vegurinn að Svínadal fór á kaf eins og ávallt í stærri flóðum. Vatnið náði alveg að garðinum við Svínadalsbæinn (Mynd 13). Hámarksvatnshæð þar mældist þar 92,8 m.y.s. sem er 1,4 m hærra en mesta vatnhæð í Skaftárhlaupi júní 2010 samkvæmt ArcticDEM landlíkaninu. Mesta vatnshæð mældist 92,9 m.y.s. við Mjóatanga og 92 m.y.s. við Tangatorfu (Kort 6).

Talsvert flóðvatn flæddi yfir garðinn neðan bæjarins Múla (Mynd 14, Kort 7) sem upphaflega var reistur til þess að beina Ásakvíslum vestur í Eldvatn (Snorri Zóphóníasson, 2015) en garðurinn sjálfur stóð mikið til óraskaður. Það var ekki nema rétt við suðvestur endann sem aðeins rofnaði úr honum. Mesta flóðhæð, mæld við sumarbústaðinn við Grófarárlón, var ~87,5 m.y.s. (Kort 7).

Vatnið fossaði niður farveginn við brúna á Skaftártunguvegi og gljúfrið neðan brúarinnar víkkaði talsvert þegar fylla úr barminum féll í ána. Flóðvatnið sem fór yfir garðinn við Grófarárlón leitaði niður eftir farvegi gömlu Ásakvísla og lagðist að Skaftártunguvegi (Kort 8). Við vatnshæð 67 m.y.s. leitaði hluti flóðvatns úr farveginum ofan Villingshóls og flæddi yfir á hraunið suðvestur til Flögulóns (Mynd 15).

4.6 Flögulón

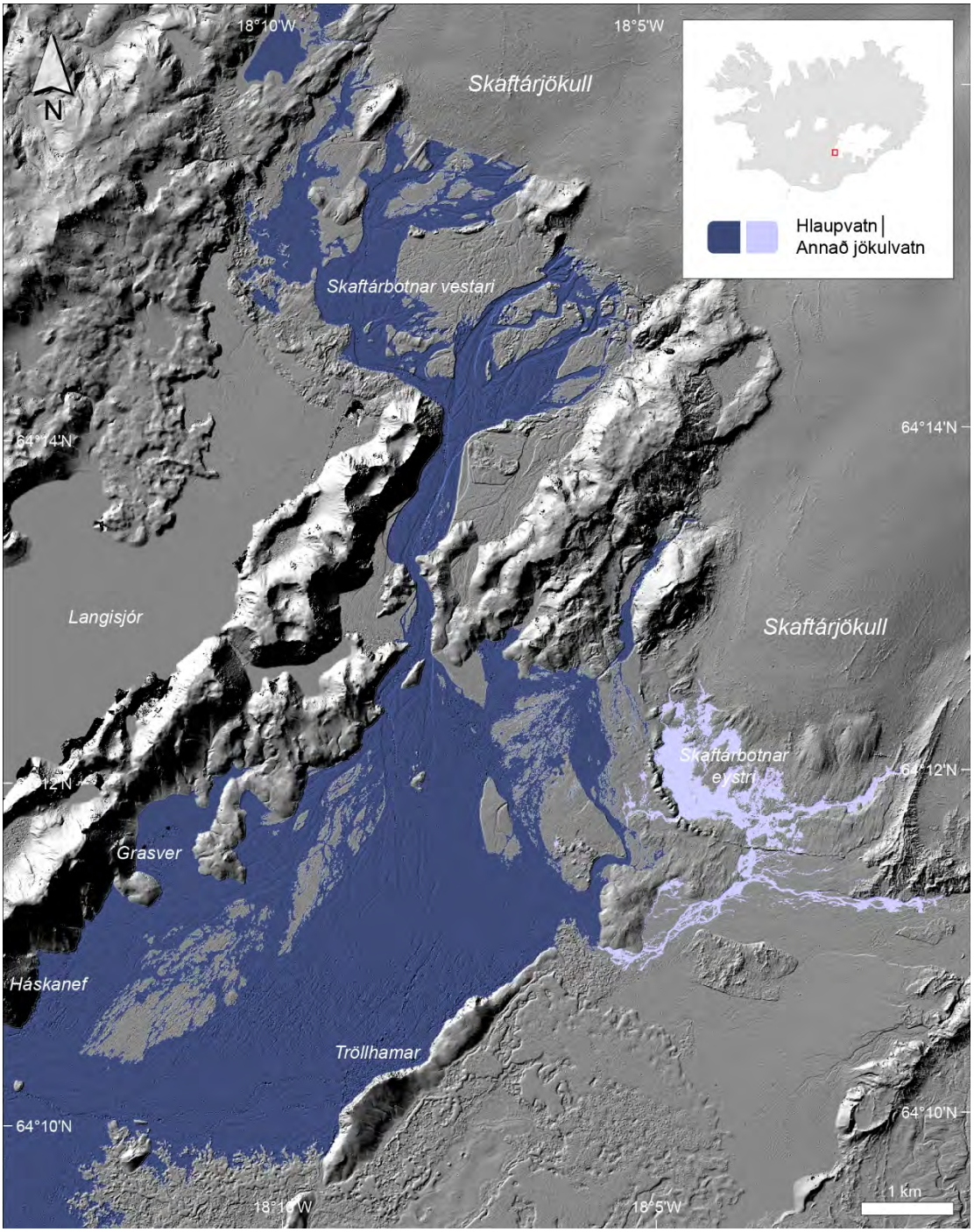
Frá Tungufljótsbrúnni niður til Flögulóns náði flóðhæð 53,5-53,6 m.y.s. (Kort 9). Túnin í Flögu fór undir flóðvatnið (Mynd 16) en mesta vatnshæð þar var 53,2 m.y.s. (Kort 10). Á tjaldsvæðinu við Syðrimýri náði vatnshæð 52,2 m.y.s. þannig að útisalerni tjaldsvæðisins fór að mestu á kaf.

4.7 Skál

Túnin umhverfis bæinn Skál voru umflotin eins og í flestum Skaftárhlaupum. Hámarksflóðhæð við bæinn mældist 82,3 m.y.s. (Kort 11). Íbúðarhúsið var ekki í hættu þar sem það stendur mun ofar í landinu, en vatnið náði alveg að útihúsi austan bæjarins. Vegurinn að bænum lokaðist algjörlega.

4.8 Dyngjur

Við Dyngjur stóð þjóðvegurinn upp úr vatninu (Mynd 18, Kort 12). Flóðhæð norðan vegar var mæld 58,9 m.y.s. þannig að það vantaði ekki mikið upp á — um 0,8 m samkvæmt landhæðarmælingum frá Vegagerðinni (LMÍ og Vegagerðin, 2017) — að það flæddi yfir veginn (vegurinn var hækkaður um 1 metra á eftir að það flæddi yfir í Skaftárhlaupi 1997). Flóðhæð neðan vegar mældist 58,3 metrar. Eins og í fyrrum hlaupum flæddi vatnið fram af Eldhrauni og niður á Landsbrotshraun í átt til Tungulækjar.



Mynd 8. Útbreiðsla Skaftárhlaupsins haustið 2015 við jaðar Skaftárjökuls, samkvæmt klasagreiningu á birtutölu myndeiningu í uppréttum myndum frá 2. október 2015 og vatnshæðarlíkani á grundvelli ArcticDEM landlíkans (Hæðarskygging af líkaninu í bakgrunni). Upplausn kortlagningar er 0,5–2 m.

Mynd 9. Skaftárhlaupið við Lyngfell: Flóðvatn leitaði upp úr aðalfarveginum og flæddi út á Skaftáreldahraun. Ljósmynd tekin af Oddi Sigurðssyni þann 2. október 2015, kl. 10:51.

Mynd 10. Skaftárhlaupið undir Sveinstindi: Flæddi i þremur farvegum við Lyngfellsgíga Ljósmynd tekin af Oddi Sigurðssyni þann 2. október 2015, kl. 11:21.

Mynd 11. Skaftárhlaupið við Hólaskjól: Flóðvatn gekk mjög nærri skálunum og náði inn að tjaldsvæðinu. Ljósmynd tekin af Benedikt G. Ófeigssyni þann 2. október 2015, kl. 08:17.

Mynd 12. Skaftárhlaupið við Skaftárdalsbrýr: Vatnið fór yfir brúna á eystri kvíslinni. Ljósmynd tekin af Benedikt G. Ófeigssyni þann 2. október 2015, kl. 09:20.

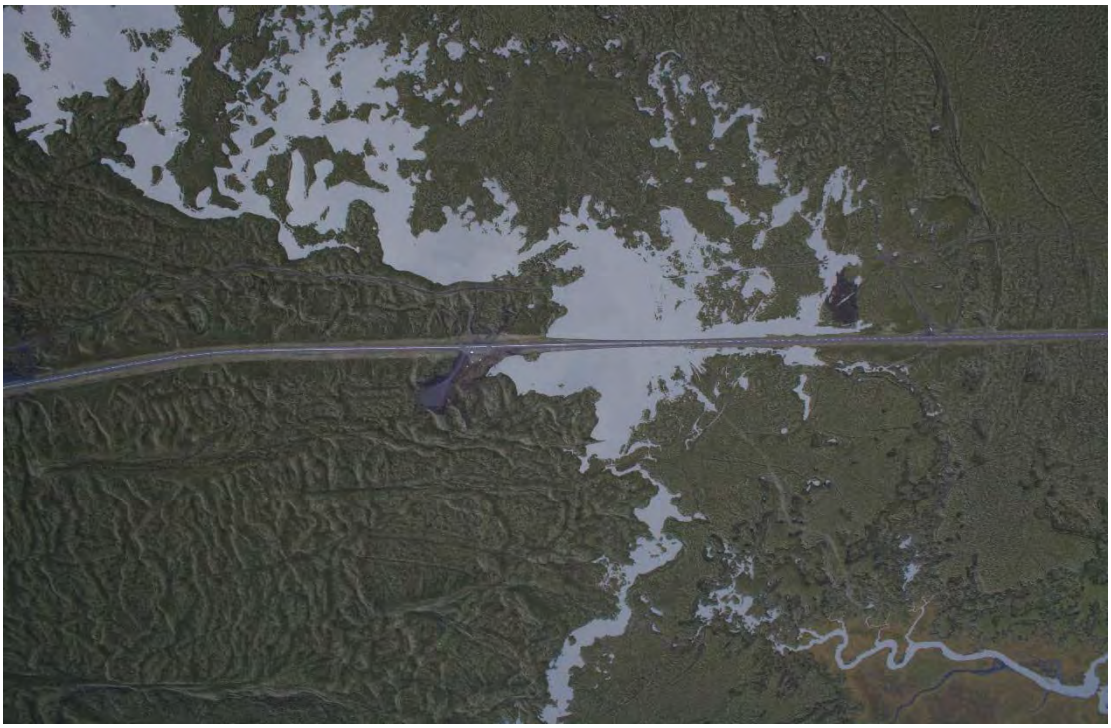
Mynd 13. Skaftárhlaupið við Svínadal: Vatnið náði alveg að garðinum við bæinn. Ljósmynd tekin af Benedikt G. Ófeigssyni þann 2. október 2015, kl. 13:14.

Mynd 14. Skaftárhlaupið við Grófarárlón: Talsvert flóðvatn fór yfir varnargarðinn Ljósmynd tekin af Benedikt G. Ófeigssyni þann 2. október 2015, kl. 14:01.

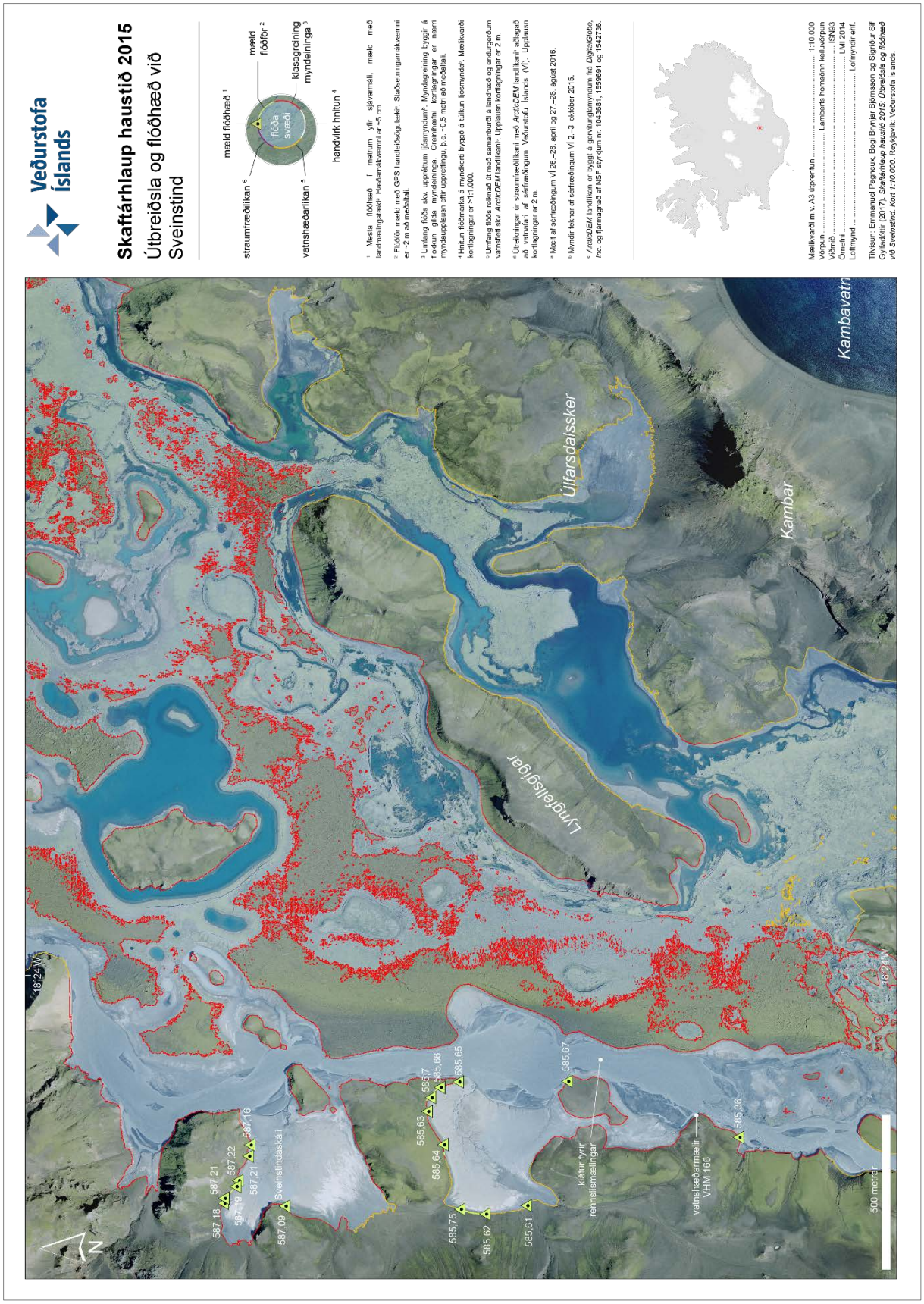
Mynd 15. Skaftárhlaupið við Ytri-Ása: Flæddi yfir hraunið suðvestur til Flögulóns. Ljósmynd tekin af Oddi Sigurðssyni þann 2. október 2015, kl. 10:29.

Mynd 16. Skaftárhlaupið við Flögulón: Túnin í Flögu fór undir flóðvatn. Ljósmynd tekin af Matthew J. Roberts þann 2. október 2015, kl. 14:11.

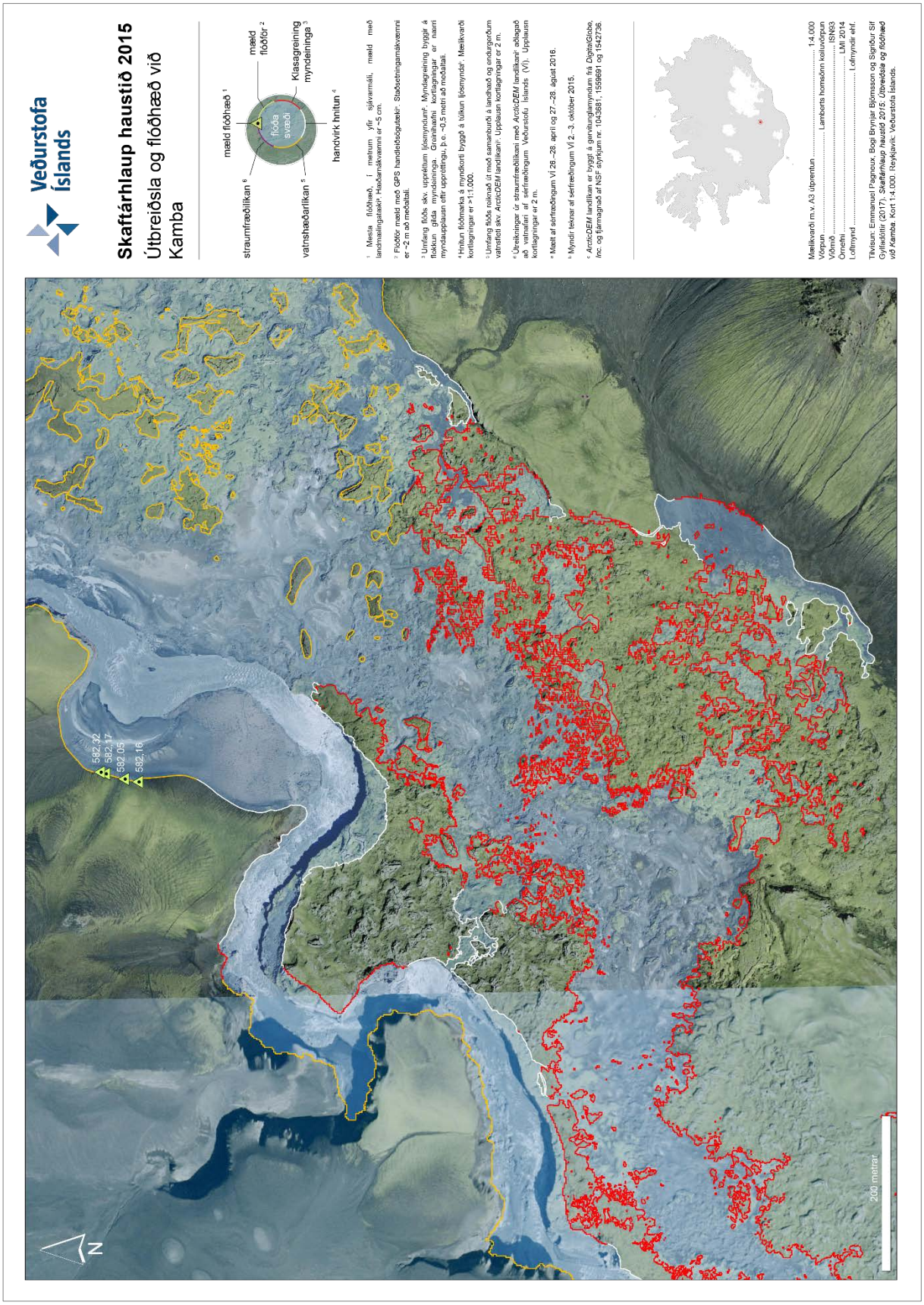
Mynd 17. Skaftárhlaupið við Skál: Íbúðarhúsið var ekki í hættu en vatn náði að útihúsi að útihúsi austan bæjarins. Ljósmynd tekin af Emmanuel Pagneux þann 3. október 2015, kl. 16:39.



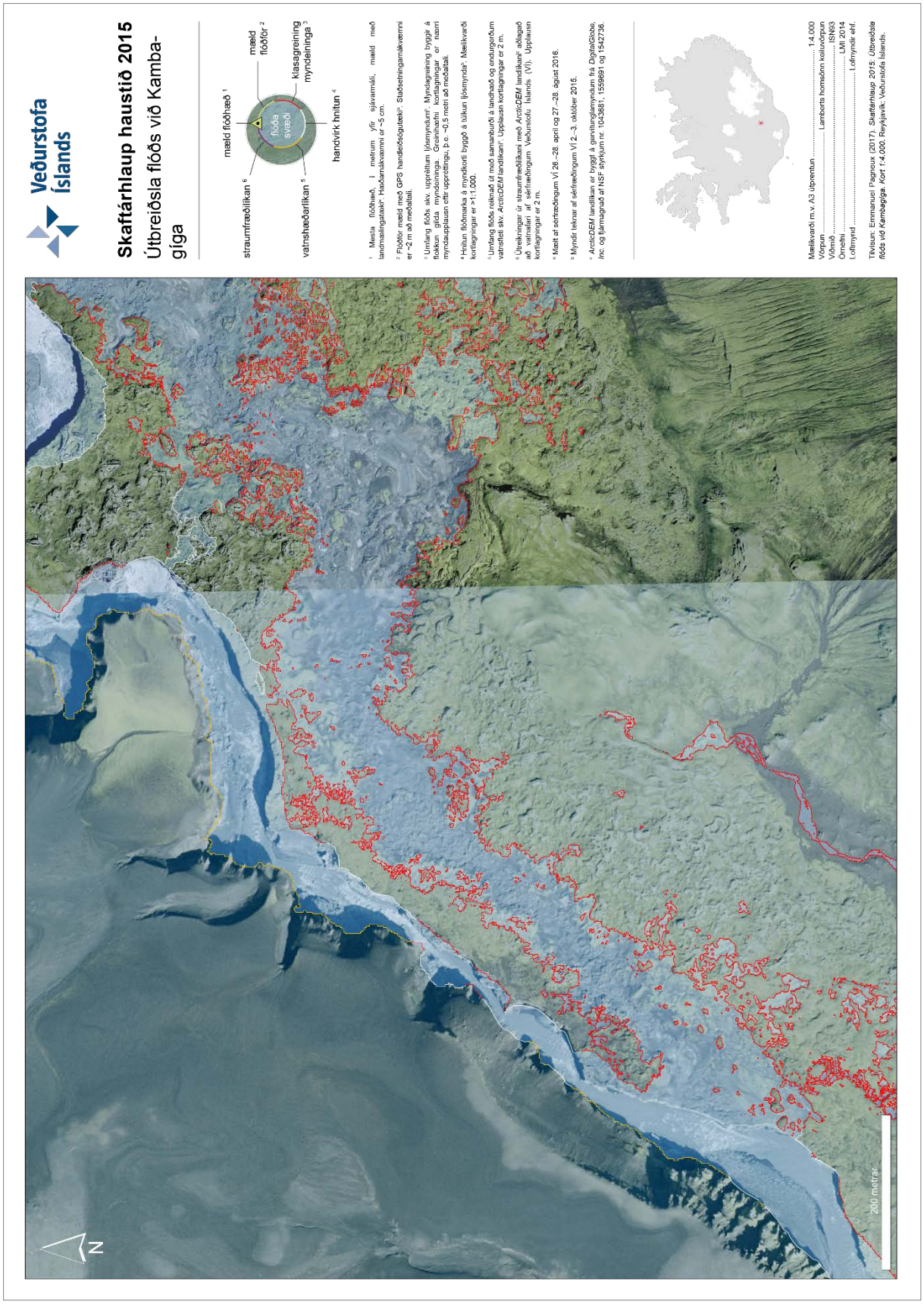
Mynd 18. Skaftárhlaupið við Dyngjur: Þjóðvegurinn stóð upp úr vatninu. Ljósmynd tekin af Emmanuel Pagneux þann 3. október 2015, kl. 16:57.



Kort 1. Útbreiðsla og flóðhæðir við Sveinstind. Loftmynd: Loftmyndir ehf.



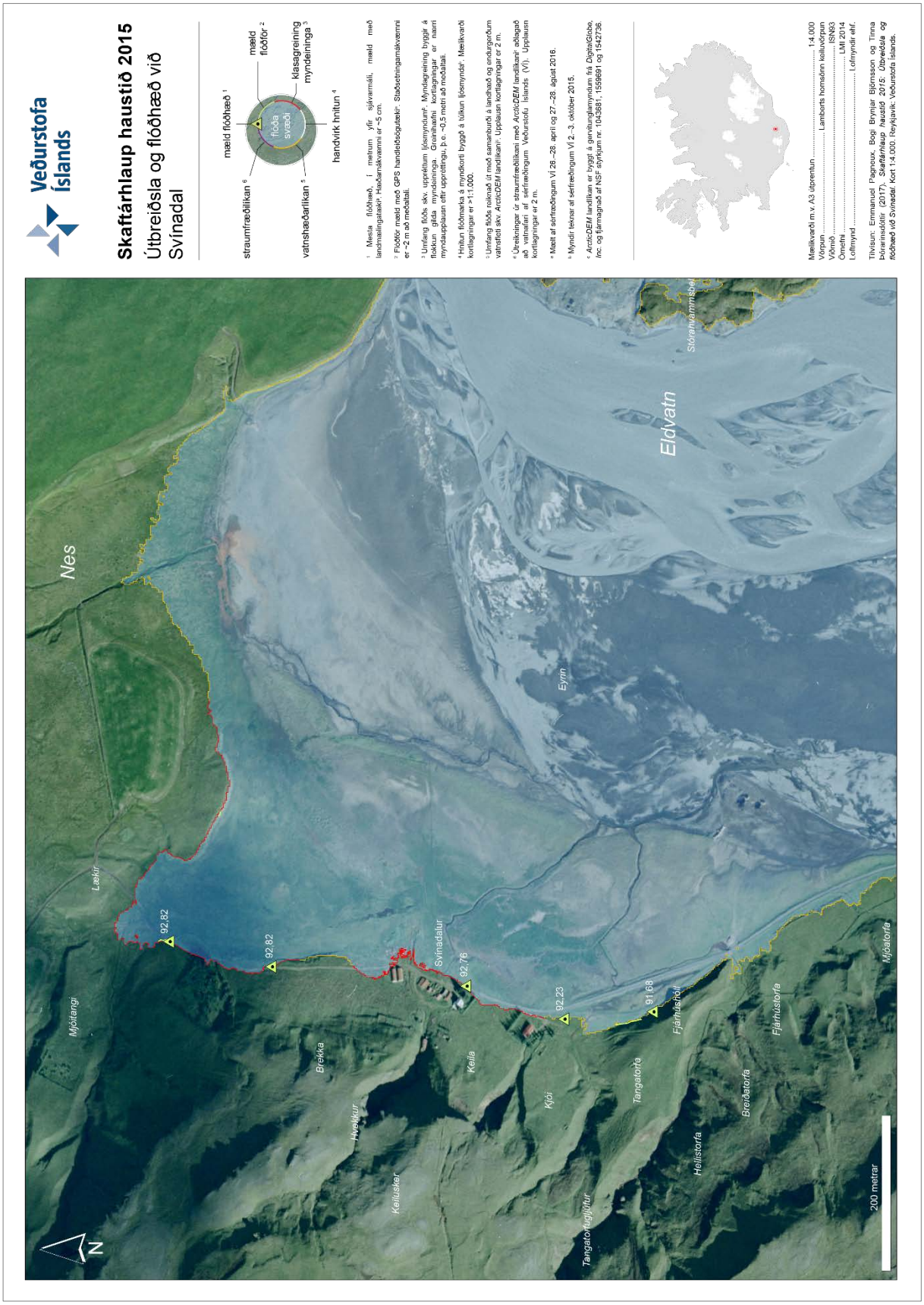
Kort 2. Útbreiðsla og flóðhæðir við Kamba. Loftmynd: Loftmyndir ehf.



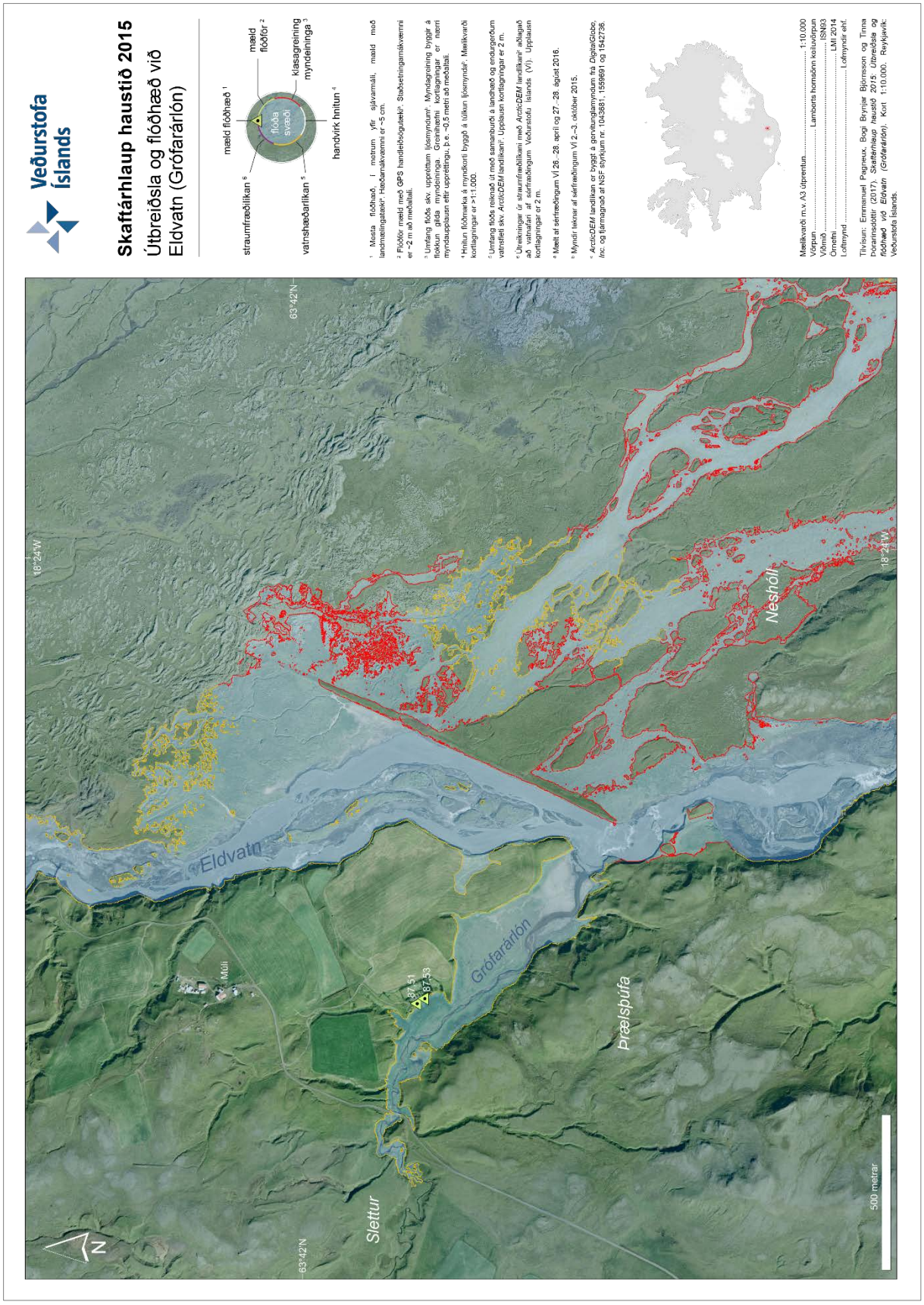
Kort 3. Útbreiðsla flóðs við Kambagíga. Loftmynd: Loftmyndir ehf.

Kort 4. Útbreiðsla og flóðhæðir við Hólaskjól. Loftmynd: Loftmyndir ehf.

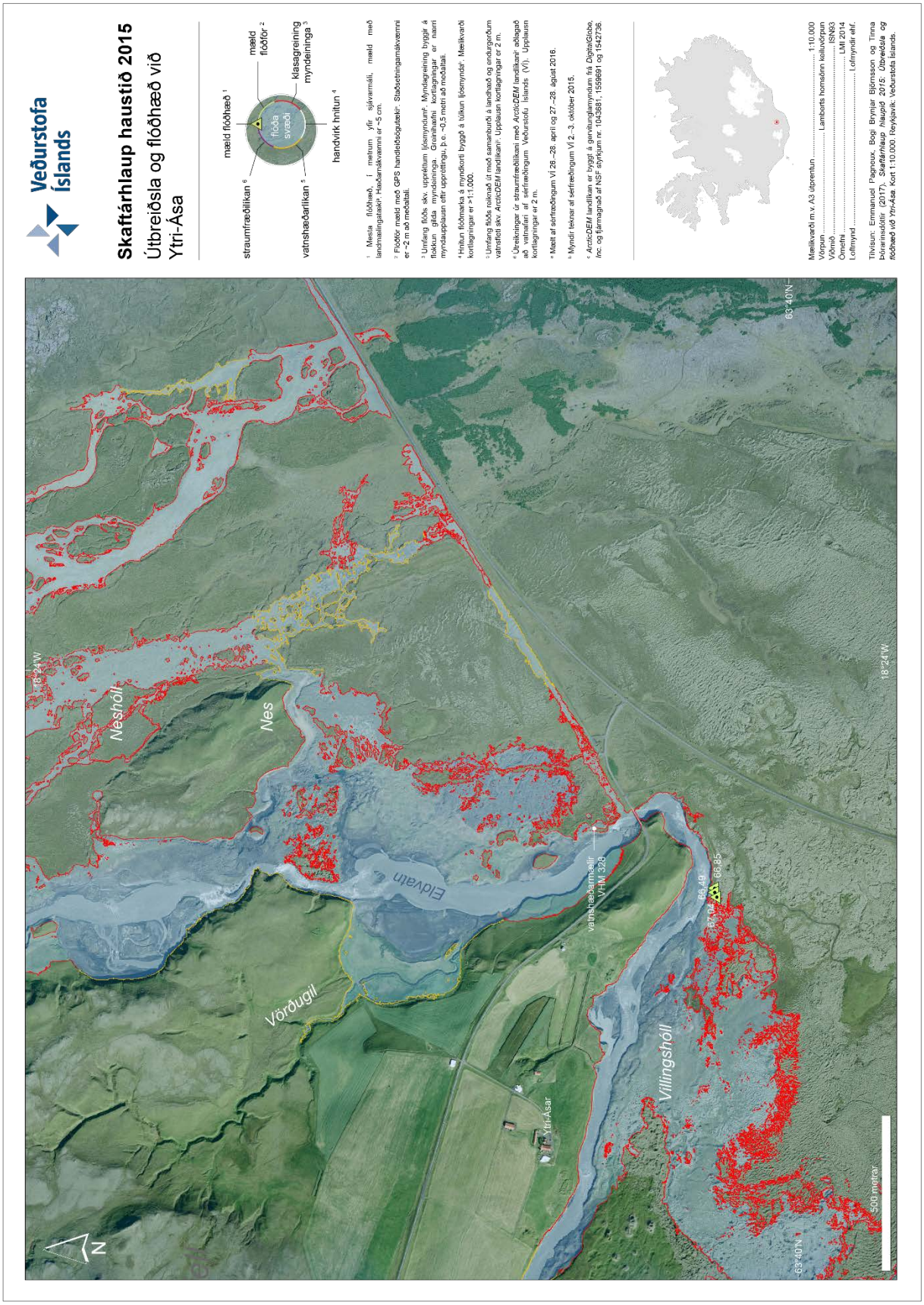
Kort 5. Útbreiðsla og flóðhæðir við Skaftárdalsbrýr. Loftmynd: Loftmyndir ehf.



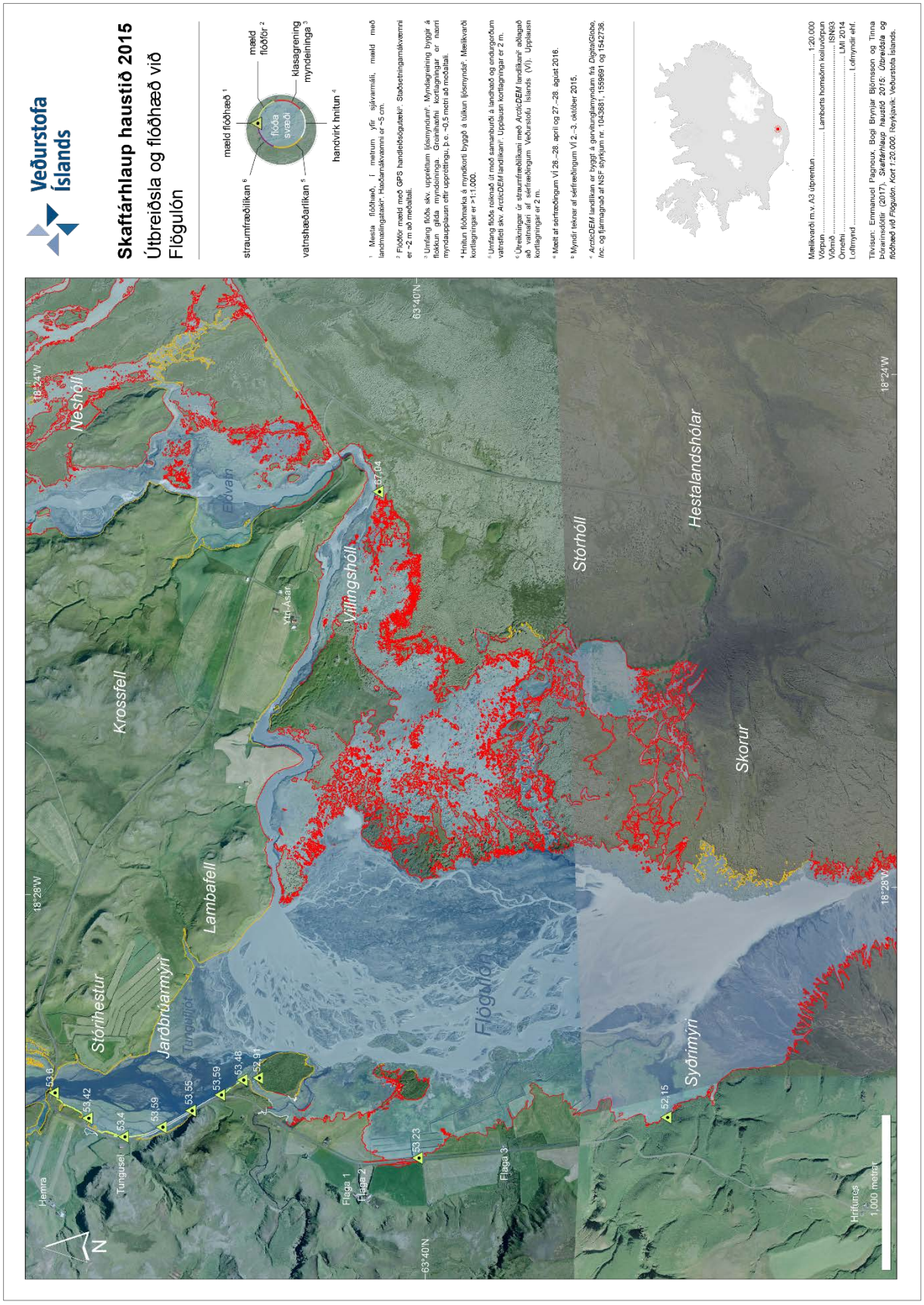
Kort 6. Útbreiðsla og flóðhæðir við Svínadal. Loftmynd: Loftmyndir ehf.



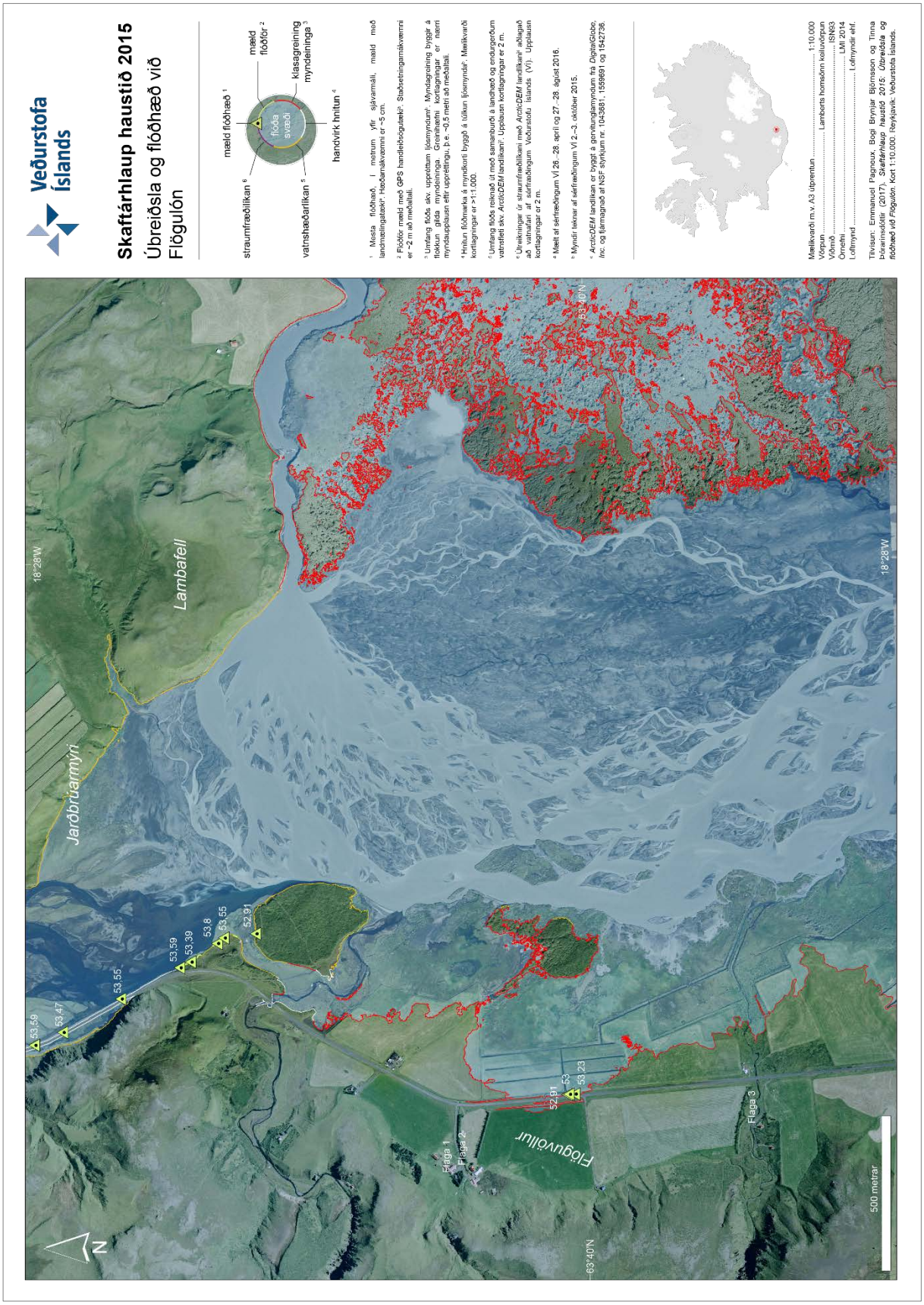
Kort 7. Útbreiðsla og flóðhæðir við Eldvatn (Grófarárlón). Loftmynd: Loftmyndir ehf.



Kort 8. Útbreiðsla og flóðhæðir við Ytri-Ása. Loftmynd: Loftmyndir ehf.

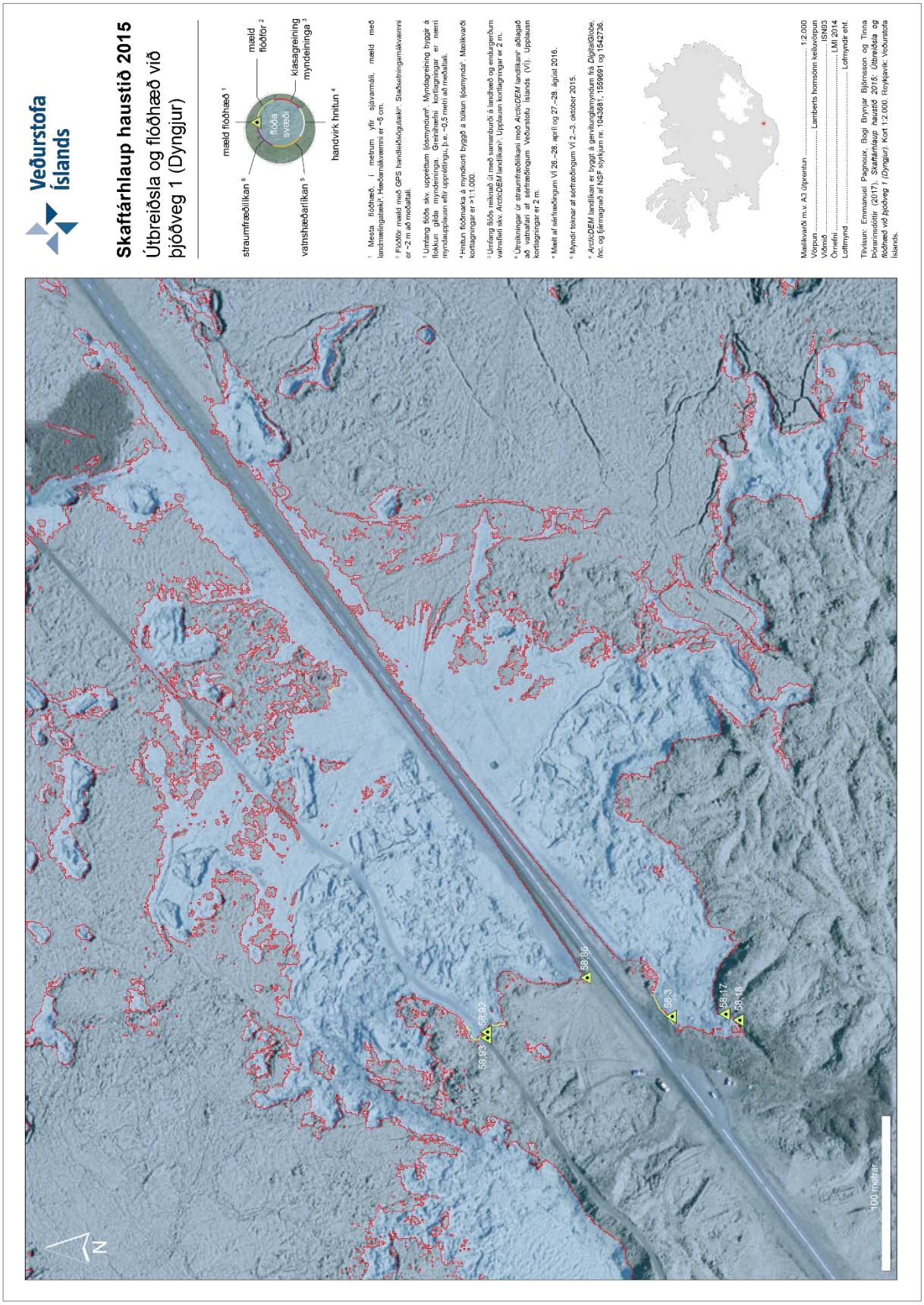


Kort 9. Útbreiðsla og flóðhæðir við Flögulón (1:20.000 m.v. A3 prentun). Loftmynd: Loftmyndir ehf.



Kort 10. Útbreiðsla og flóðhæðir við Flögulón (1:10.000 m.v. A3 prentun). Loftmynd: Loftmyndir ehf.

Kort 11. Útbreiðsla og flóðhæðir við Skál. Loftmynd: Loftmyndir ehf.



Kort 12. Útbreiðsla og flóðhæðir við þjóðveg 1 (Dyngjur). Loftmynd: Loftmyndir ehf.

5 Þakkir

Höfundar þakka sérstaklega Tinnu Þórarinsdóttur og Sigríði S. Gylfadóttur fyrir aðstoð þeirra í vettvangsmælingum. Tómasi Jóhannessyni, Snorra Zóphóníassyni og Oddi Sigurðssyni eru færðar þakkir fyrir áhugaverðar umræður og ábendingar.

Vinnan er hluti af verkefninu um hættumat varðandi jökulhlaup í Skaftá sem styrkt er af Ofanflóðasjóði. ArcticDEM yfirborðslíkan sem notað var í reikningunum er byggt á gervitunglamyndum frá *DigitalGlobe, Inc.* og fjármagnað af styrkjum nr. 1043681, 1559691, og 1542736 frá *National Science Foundation* í Bandaríkjunum.

Flóðamyndir daganna 2.–3. október 2015 eru teknar af Oddi Sigurðssyni, Benedikt G. Ófeigssyni, Þorsteini Þorsteinssyni, Matthew J. Roberts og Emmanuel Pagneux.

6 Heimildir

6.1 Fræðirit

Jenks, G.F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7(1), 186–190.

Emmanuel Pagneux, Matthías Á. Jónsson, Tinna Þórarinsdóttir, Bogi B. Björnsson, Davíð Egilson & Matthew J. Roberts (2018). *Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá: Hermun flóðasviðsmynda*. Skýrsla VÍ 2018-008. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

Esther H. Jensen, Davíð Egilson, Emmanuel Pagneux, Bogi B. Björnsson, Snorri Zóphóníasson, Snorri Páll Snorrason, Ingibjörg Jónsdóttir, Ragnar H. Þrastarson, Oddur Sigurðsson & Matthew J. Roberts (2018). *Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá: Mat á setflutningi með sögulegu yfirliti*. Skýrsla VÍ 2018-005. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

Esther H. Jensen, Davíð Egilson, Svava B. Þorláksdóttir, Ingibjörg Jónsdóttir, Snorri Zóphóníasson, Matthías Á. Jónsson, Emmanuel Pagneux, Bogi B. Björnsson & Matthew J. Roberts (2018). *Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá: Set í hlaupi haustið 2015*. Skýrsla VÍ 2018-006. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

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.

Pagneux, E. & Snorrason, Á. (2012). High-accuracy mapping of inundations induced by ice-jams: a case-study from Iceland. *Hydrology Research*, 43(4), 412–421, DOI: 10.2166/nh.2012.114

Polar Geospatial Center (2016). *ArcticDEM Documentation and User Guidance.* Saint Paul, Minnesota: Polar Geospatial Center, University of Minnesota.

Snorri Zóphóníasson (2015). *Vatnafar í Eldhrauni. Náttúrulegar breytingar og áhrif veitumannvirkja*. Skýrsla VÍ 2015-003. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

6.2 Gagnasett og fréttir af vefmiðlun

Landmælingar Íslands (2011). Ný geoíða fyrir Ísland [Fréttir]. Sótt 24.07.2017 á lmi.is: http://www.lmi.is/um-landmaelingar/landshaedakerfi-temp/ny-geoida-fyrir-island/

Landmælingar Íslands og Vegagerðin (2017). Landmælingarpunktar mældir á vegi með hnitum og hæð frá 1998 til 2011 [Gagnasett].

6.3 Kort

Kort 1 Emmanuel Pagneux, Bogi Brynjar Björnsson & Sigríður Sif Gylfadóttir (2017). *Skaftárhlaup haustið 2015: Útbreiðsla og flóðhæð við Sveinstind*. Kort 1:10.000. Reykjavík: Veðurstofa Íslands. Sótt á: http://www.vedur.is/gogn/vefgogn/jokulhlaup/haettumat/skaftarhlaup/flodakort/skaftarhlaup_2015/SKFT_2015.10_UH_sveinstindur_10K.pdf

Kort 2 Emmanuel Pagneux, Bogi Brynjar Björnsson & Sigríður Sif Gylfadóttir (2017). *Skaftárhlaup haustið 2015: Útbreiðsla og flóðhæð við Kamba*. Kort 1:4000. Reykjavík: Veðurstofa Íslands. Sótt á: http://www.vedur.is/gogn/vefgogn/jokulhlaup/haettumat/skaftarhlaup/flodakort/skaftarhlaup_2015/SKFT_2015.10_UH_kambar_4K.pdf

Kort 3 Emmanuel Pagneux (2017). *Skaftárhlaup haustið 2015: Útbreiðsla flóðs við Kambagíga*. Kort 1:4000. Reykjavík: Veðurstofa Íslands. Sótt á: http://www.vedur.is/gogn/vefgogn/jokulhlaup/haettumat/skaftarhlaup/flodakort/skaftarhlaup_2015/SKFT_2015.10_U_kambagigar_4K.pdf

Kort 4 Emmanuel Pagneux, Bogi Brynjar Björnsson & Sigríður Sif Gylfadóttir (2017). *Skaftárhlaup haustið 2015: Útbreiðsla og flóðhæð við Hólaskjól*. Kort 1:1000. Reykjavík: Veðurstofa Íslands. Sótt á: http://www.vedur.is/gogn/vefgogn/jokulhlaup/haettumat/skaftarhlaup/flodakort/skaftarhlaup_2015/SKFT_2015.10_UH_holaskjol_1K.pdf

Kort 5 Emmanuel Pagneux, Bogi Brynjar Björnsson & Tinna Þórarinsdóttir (2017). *Skaftárhlaup haustið 2015: Útbreiðsla og flóðhæð við Skaftárdalsbrýr*. Kort 1:2000. Reykjavík: Veðurstofa Íslands. Sótt á: http://www.vedur.is/gogn/vefgogn/jokulhlaup/haettumat/skaftarhlaup/flodakort/skaftarhlaup_2015/SKFT_2015.10_UH_skaftardalsbryr_2K.pdf

Kort 6 Emmanuel Pagneux, Bogi Brynjar Björnsson & Tinna Þórarinsdóttir (2017). *Skaftárhlaup haustið 2015: Útbreiðsla og flóðhæð við Svínadal*. Kort 1:4000. Reykjavík: Veðurstofa Íslands. Sótt á: http://www.vedur.is/gogn/vefgogn/jokulhlaup/haettumat/skaftarhlaup/flodakort/skaftarhlaup_2015/SKFT_2015.10_UH_svinadalur_4K.pdf

Kort 7 Emmanuel Pagneux, Bogi Brynjar Björnsson & Tinna Þórarinsdóttir (2017). *Skaftárhlaup haustið 2015: Útbreiðsla og flóðhæð við Eldvatn (Grófarárlón)*. Kort 1:10.000. Reykjavík: Veðurstofa Íslands. Sótt á: http://www.vedur.is/gogn/vefgogn/jokulhlaup/haettumat/skaftarhlaup/flodakort/skaftarhlaup_2015/SKFT_2015.10_UH_grofararlon_10K.pdf

Kort 8 Emmanuel Pagneux, Bogi Brynjar Björnsson & Tinna Þórarinsdóttir (2017). *Skaftárhlaup haustið 2015: Útbreiðsla og flóðhæð við Ytri-Ása*. Kort 1:10.000. Reykjavík: Veðurstofa Íslands. Sótt á: http://www.vedur.is/gogn/vefgogn/jokulhlaup/haettumat/skaftarhlaup/flodakort/skaftarhlaup_2015/SKFT_2015.10_UH_ytri-asar_10K.pdf

Kort 9 Emmanuel Pagneux, Bogi Brynjar Björnsson & Tinna Þórarinsdóttir (2017). *Skaftárhlaup haustið 2015: Útbreiðsla og flóðhæð við Flögulón.* Kort 1:20.000. Reykjavík: Veðurstofa Íslands. Sótt á: http://www.vedur.is/gogn/vefgogn/jokulhlaup/haettumat/skaftarhlaup/flodakort/skaftarhlaup_2015/SKFT_2015.10_UH_flogulon_20K.pdf

Kort 10 Emmanuel Pagneux, Bogi Brynjar Björnsson & Tinna Þórarinsdóttir (2017). *Skaftárhlaup haustið 2015: Útbreiðsla og flóðhæð við Flögulón.* Kort 1:10.000. Reykjavík: Veðurstofa Íslands. Sótt á: http://www.vedur.is/gogn/vefgogn/jokulhlaup/haettumat/skaftarhlaup/flodakort/skaftarhlaup_2015/SKFT_2015.10_UH_flogulon_10K.pdf

Kort 11 Emmanuel Pagneux, Bogi Brynjar Björnsson & Tinna Þórarinsdóttir (2017). *Skaftárhlaup haustið 2015: Útbreiðsla og flóðhæð við Skál.* Kort 1:1000. Reykjavík: Veðurstofa Íslands. Sótt á: http://www.vedur.is/gogn/vefgogn/jokulhlaup/haettumat/skaftarhlaup/flodakort/skaftarhlaup_2015/SKFT_2015.10_UH_skal_1K.pdf

Kort 12 Emmanuel Pagneux, Bogi Brynjar Björnsson & Tinna Þórarinsdóttir (2017). *Skaftárhlaup haustið 2015: Útbreiðsla og flóðhæð við Þjóðveg 1 (Dyngjur).* Kort 1:2000. Reykjavík: Veðurstofa Íslands. Sótt á: www.vedur.is/gogn/vefgogn/jokulhlaup/haettumat/skaftarhlaup/flodakort/skaftarhlaup_2015/SKFT_2015.10_UH_dyngjur_2K.pdf

Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá

Útbreiðsla og flóðhæð Skaftárhlaupsins 2015

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

Forsíðumynd: Hlaup haustið 2015 við jaðar Skaftárjökuls
© Þorsteinn Þorteinsson