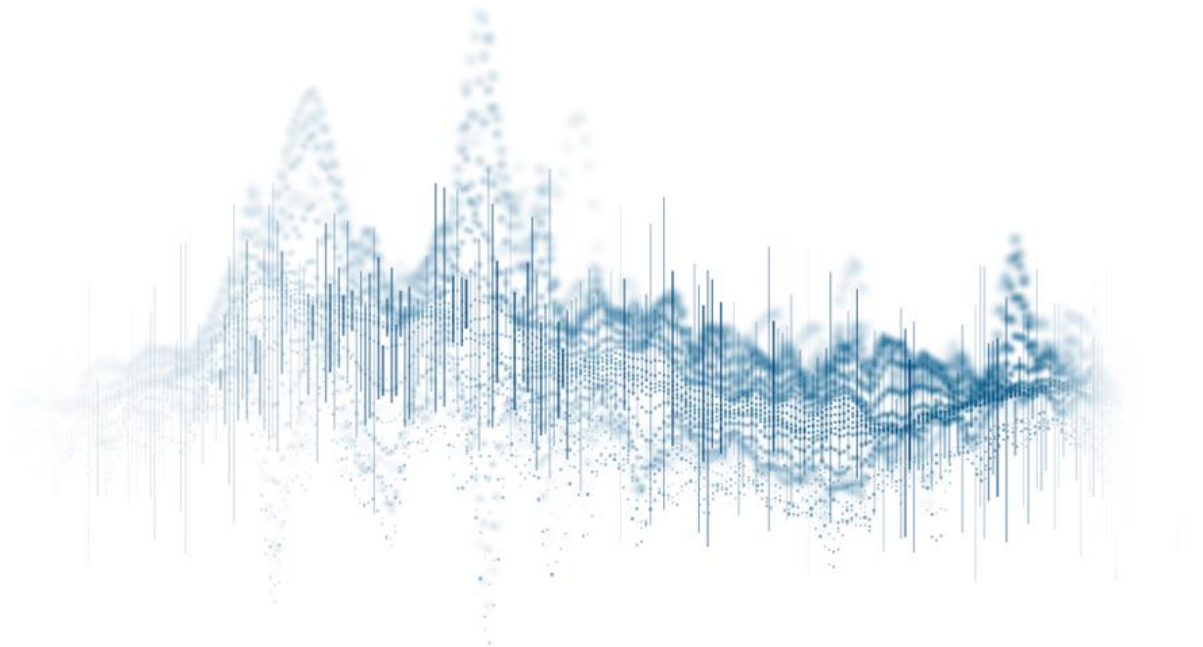


Hættumat vegna vatnsflóða í Héraðsvötnum

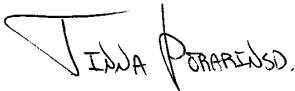
Jón Elvar Wallevik
Tinna Pórarinsdóttir
Bogi Brynjar Björnsson
Matthew J. Roberts
Andréa-Giorgio R. Massad



Hættumat vegna vatnsflóða í Héraðsvötnum

Jón Elvar Wallevik
Tinna Þórarinsdóttir
Bogi Brynjar Björnsson
Matthew J. Roberts
Andréa-Giorgio R. Massad

Lykilsíða

Skýrsla nr. 2024-012	Dags. 30/12/2024	ISSN 1670-8261	Dreifing: Opín ☒ ☐ Upplag: Rafræn útgáfa
Heiti skýrslu: Hættumat vegna vatnsflóða í Héraðsvötnum			Framkvæmdastjóri sviðs: Matthew J. Roberts
			Verkefnisstjóri: Tinna Þórarinsdóttir
Höfundar: Jón Elvar Wallevik Tinna Þórarinsdóttir Bogi Brynjar Björnsson Matthew J. Roberts Andréa-Giorgio R. Massad			DOI-númer: 10.33112/FVLQ5446
			Verknúmer: 4711-0-0010
Gerð skýrslu/verkstig: Lokaskýrsla			Málsnúmer: 2025-0250
Unnið fyrir: Ofanflóðasjóð			
Útdráttur: Skýrslan fjallar um hættumat vegna veðurorsakaðra flóða í Héraðsvötnum. Vatnasvið Héraðsvatna nær yfir um 3670 km ² frá upptökum til ósa, en svæðið sem hættumatið nær yfir er hins vegar mun minna eða u.þ.b. 260 km ² . Straumfræðilegu líkanreikningarnir sem hættumatið byggir á afmarkast annars vegar við brúna yfir Húseyjarkvísl og hins vegar við ármót Héraðsvatna og Norðurár við Kjálkaveg. Reiknað svæði nær frá þessum mörkum niður að ósum. Eitt af markmiðum verkefnisins er að meta samanlögð áhrif sjávarflóðs í Skagafirði og vatnsflóða í Héraðsvötnum þegar þau verða á sama tíma. Reikningar eru því framkvæmdir annars vegar i) miðað við meðalsjávarhæð og hins vegar ii) miðað við sjávarstöðu sem lýsir sjávarflóði vegna veðurtengds áhlaðanda samfara hárri sjávarstöðu vegna sjávarfalla. Unnið er út frá flóðum með 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma og er stærð og umfang hvers þeirra greint út frá rennslisgögnum vatnshæðarmælanna í Svartá og í Héraðsvötnum við Grundarstokk, VHM 10 og VHM 77. Allir líkanreikningar voru framkvæmdir á ofurtölvu Háskóla Íslands í gegnum verkefnið IREI sem stutt var af Innviðasjóði Rannís. Niðurstöðum verkefnisins er ætlað að nýtast til að lágmarka tjónnæmi á þeim svæðum sem hættumatið nær til. Verkefnið er hluti af stærri verkefnabálki sem hefur fengið yfirheitið VATNAVÁ en undir því eru fjölmörg verkefni sem snúa að heildarhættumati vegna vatnsflóða á Íslandi og eru styrkt af Ofanflóðasjóði.			
Lykilorð: Héraðsvötn, veðurorsökuð flóð, endurkomutími, sjávarmál, sjávarflóð, flóðslétta, hættumat, tjónmætti, straumfræðilegir líkanreikningar, ofurtölvureikningar		Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs: 	
		Undirskrift verkefnisstjóra: 	
		Yfirfarið af: BE	

Efnisyfirlit

Efnisyfirlit	6
Myndaskrá	7
Töfluskrá.....	9
Samantekt helstu niðurstaðna	10
1 Inngangur.....	13
2 Greining flóða	14
2.1 Stutt yfirlit yfir söguleg flóð.....	14
2.2 Vatnasvið og hættumatssvæði	14
2.3 Stærð og umfang flóða	16
2.4 Endurkomutími flóða	17
2.4.1 Skilgreining endurkomutíma.....	17
2.4.2 Stærstu flóð.....	18
2.4.3 Tíðnigreining flóða	19
2.5 Rennslisrit fyrir Héraðsvötn og Svartá.....	21
3 Aðferðir	23
3.1 Hugbúnaður	23
3.2 Hermanir.....	24
3.2.1 Reikninet og upptakasvæði	24
3.2.2 Úttaksgögn líkanreikninga	24
3.3 Hættumat/Tjónmætti	25
3.4 Hermun með áhrifum sjávarflóða	26
4 Niðurstöður	29
4.1 Útbreiðsla flóðasviðsmynda og hættumat	29
4.1.1 Yfirlitskort við meðalhæð sjávar	29
4.1.2 Áhrif sjávarflóðs.....	29
4.1.3 Tjónmætti með og án áhrifa sjávarflóða	34
4.1.4 Tilraun með lokun á rennsli til Austari-Héraðsvatna	38
4.2 Ferðatími flóða	40
4.3 Samanburður flóðsviðsmynda við desemberflóðin 2006	43
4.4 Óvissuþættir.....	44
4.4.1 Landlíkan.....	44
4.4.2 Ástand farvegjar í landlíkanið	46
4.4.3 Aðrir óvissuþættir	47
Heimildir	49
Viðauki I. Hermun ísstífluflóða	52

I.1 Inngangur	52
I.2 Áhrif loftslagsbreytinga á líkur á myndun ísstíflna	52
I.3 Uppsetning hermana	52
I.4 Niðurstöður	54
I.4.1 Hámarksútbreiðsla flóða.....	54
I.4.2 Áhrif smávægilegrar breytingar á landlíkani.....	55
I.5 Samantekt.....	57
Viðauki II – Hætta, tjónmætti, tjónnæmi og áhætta	59
II.1 Aðrar skilgreiningar	59
II.2 Tjónmætti og hætta.....	59
II.3 Tjónnæmi.....	59
II.4 Áhætta	59
Viðauki III. Fullbúin kort – Héraðsvötn, sjávarhæð við sjávarmál.....	61
Viðauki IV. Fullbúin kort – Héraðsvötn, samfallandi árflóð og sjávarflóð	75

Myndaskrá

Mynd 1. Vatnasvið Héraðsvatna ásamt staðsetningu vatnshæðamæla á láglendi.	15
Mynd 2. Áætluð útbreiðsla flóðs desember 2006, samkvæmt mati frá árinu 2010 (litað svæði) og samkvæmt endurmati árið 2017 (svört lína).....	17
Mynd 3. Mesta augnabliksrennsli [m^3/s] hvers árs við vatnshæðarmæli VHM 10 (Svartá) yfir tímabilið 1932–2020. Tvö rennslisgildi fyrir 200 ára flóð eru sýnd með brotalínunum, annað þar sem notast er við allt gagnasafnið í flóðagreiningu en hitt byggir aðeins á hæstu flóðum, sem sýnd eru með dökkbláum súlum.	18
Mynd 4. Mesta augnabliksrennsli [m^3/s] hvers árs við vatnshæðarmæli VHM 77 (Grundarstokkur) yfir tímabilið 1966–2020. Tvö rennslisgildi fyrir 200 ára flóð eru sýnd með brotalínunum, annað þar sem notast er við allt gagnasafnið í flóðagreiningu en hitt byggir aðeins á hæstu flóðum sem sýnd eru með dökkbláum súlum.....	19
Mynd 5. Endurkomutími 200 ára flóðs metinn út frá mældu rennsli við vatnshæðarmæli VHM 10 yfir tímabilið 1932–2020 (mynd 3). Svarta línan sýnir aðhvarfslínu í gegnum allt gagnasafnið en sú rauða í gegnum hæstu rennslisgildi (rauðir punktar).	20
Mynd 6. Endurkomutími 200 ára flóðs metinn út frá mældu rennsli við vatnshæðarmæli VHM 77 yfir tímabilið 1966–2020 (mynd 4). Svarta línan sýnir aðhvarfslínu í gegnum allt gagnasafnið en sú rauða í gegnum hæstu rennslisgildi (rauðir punktar).	20
Mynd 7. Kvörðuð rennslisrit fyrir VHM 10 (vinstri) og VHM 77 (hægri). Upphaflegt rennslisrit er sýnt með rauðum ferli, brúunin af því með bláum ferli og brúunarpunktarnir með „O“ punktum.	22
Mynd 8. Rennslisrit fyrir Héraðsvötn (A) og Húseyjarkvísl/Svartá (B). Rautt gildir fyrir 25 ára endurkomutíma, blátt fyrir 200 ára og grænt fyrir 1000 ára endurkomutíma. Sjá einnig mynd 9, kafla 3.2, um staðsetningu þessara upptakasvæða (A og B) á korti.	22
Mynd 9. Upptakasvæði flóða ofarlega í Héraðsvötnum (A) og Húseyjarkvísl/Svartá (B).	24

Mynd 10. Útbreiðsla sjávarflóða upp á land við meðalhæð sjávar annars vegar (a) og hins vegar með áhrifum hárrar sjávarstöðu (b) og (c). Fyrir mynd (b) standast varnavirki álag sjávarflóðs en fyrir (c) gera þau það í minna mæli.	27
Mynd 11. Líkanreiknuð útbreiðsla flóða og staðsetning upptaka líkanreikninga innan vatnasviðs Héraðsvatna, við meðalhæð sjávar/sjávarmál. Sjá einnig viðauka III. Athuga ber að innan bæjarmarka Sauðárkróks er ekki tekið tillit til ræsa eða annarra mannvirkja og ber því að taka niðurstöðum þar með fyrirvara.	30
Mynd 12. Líkanreiknuð útbreiðsla flóða og staðsetning upptaka líkanreikninga innan vatnasviðs Héraðsvatna með hækkaða sjávarhæð skv. jöfnu (10). Sjá einnig viðauka IV. Athuga ber að innan bæjarmarka Sauðárkróks er ekki tekið tillit til ræsa eða annarra mannvirkja og ber því að taka niðurstöðum þar með fyrirvara.	31
Mynd 13. Aukning í hámarksdýpi Δd , skv. jöfnu (11), vegna áhrifa hárrar sjávarhæðar á flóð í Héraðsvötnum (kafla 3.4). Mynd (a) gildir fyrir flóð með 25 ára endurkomutíma, (b) fyrir 200 ára og (c) fyrir 1000 ára endurkomutíma. Dökkblár litur er $\Delta d = 0$ m (þ.e. engin aukning í hámarksdýpi), gulur er u.þ.b. 0,5 m aukning á meðan rauður litur sýnir svæði þar sem aukningin í hámarksdýpi er um 1m eða meira. Sjá einnig táknlykil efst til hægri.	32
Mynd 14. Rennsli sem fall af tíma fyrir Vestari-Héraðsvötn (vinstri) og Austari-Héraðsvötn (hægri) að teknu tilliti til áhrifa hárrar sjávarstöðu (mynd 10c). Gráu bakgrunnslínurnar sýna sömu niðurstöður við sjávarmál (mynd 10a). Tíminn núll hér er sá sami og núll á mynd 8 (þ.e. sami ás).	33
Mynd 15. Tjónmætti vd_{max} fyrir 25 (a), 200 (b) og 1000 (c) ára endurkomutíma. Sjávarhæð er sett sem sjávarmál (tafla 4 sýnir táknlykil). Sjá einnig viðauka III.	35
Mynd 16. Tjónmætti gagnvart fólki (hr) fyrir 25 ára endurkomutíma, fyrir sjávarhæð við sjávarmál (vinstri) og með hækkaða sjávarhæð skv. jöfnu (10) (hægri). Tafla 5 sýnir táknlykil.	36
Mynd 17. Tjónmætti gagnvart fólki (hr) fyrir 200 ára endurkomutíma, fyrir sjávarhæð við sjávarmál (vinstri) og með hækkaða sjávarhæð skv. jöfnu (10) (hægri). Tafla 5 sýnir táknlykil.	36
Mynd 18. Tjónmætti gagnvart fólki (hr) fyrir 1000 ára endurkomutíma, fyrir sjávarhæð við sjávarmál (vinstri) og með hækkaða sjávarhæð skv. jöfnu (10) (hægri). Tafla 5 sýnir táknlykil.	37
Mynd 19. Rennslishindrun á milli Hjarðarbóls (við Eyhildarholtsveg) og Þverár (við Siglufjarðarveg). Sjá nánar umræðu um landlíkan síðar í kafla 4.4.1 ásamt mynd 27.	38
Mynd 20. Hámarksdýpi d_{max} og flóðaútbreiðsla fyrir sviðsmynd með 25 ára endurkomutíma, án (vinstri) og með (hægri) rennslislokun til Austari-Héraðsvatna. Liturinn er í dýpi frá svörtu 0,1 m til hvíts 3 m.	39
Mynd 21. Rennsli sem fall af tíma fyrir Vestari- og Austari-Héraðsvötn með (rautt) og án (blátt) lokun rennslis til Austari-Héraðsvatna (flóðasviðsmynd með 25 ára endurkomutíma).	40
Mynd 22. Hliðrað (vinstri) og óhliðrað (hægri) rennslisrit fyrir Héraðsvötn.	41
Mynd 23. Vatnsdýpi sem fall af tíma við mismunandi staði fyrir flóðasviðsmynd með 25 ára endurkomutíma.	42
Mynd 24. Vatnsdýpi sem fall af tíma við mismunandi staði fyrir flóðasviðsmynd með 200 ára endurkomutíma.	42
Mynd 25. Vatnsdýpi sem fall af tíma við mismunandi staði fyrir flóðasviðsmynd með 1000 ára endurkomutíma.	43

Mynd 26. Áætluð útbreiðsla flóðs árið 2006, græn lína og rauð-strikamerkta svæðið (sjá mynd 2) samanborið við líkanreiknaða útbreiðslu (gráir flákar). Ljósgrátt svæði er hermd dreifing flóðs fyrir 25 ára endurkomutíma. Undir er dökkgrátt svæði sem gildir fyrir 200 ára endurkomutíma og neðst er svart svæði fyrir 1000 ára endurkomutíma (sjá mynd 11).	44
Mynd 27. Yfirborðslíkanið sem er notað í þessu verkefni. Vinstri myndin sýnir líkanið í heild sinni á meðan hægri myndin sýnir þysjaða mynd af Vestari- og Austari Héraðsvötnum sitthvoru megin við Hegranes.	45
Mynd 28. Mismunur á milli yfirborðslíkans (DSM) og landhæðalíkans (DTM), (CDEMA, á.á.).	45
Mynd 29. Upplausn reiknins á 4 m x 4 m fyrir tiltekið svæði (vinstri) og meðaltalsgildi innan hvers reiknareits fyrir sama svæðið (hægri).	46
Mynd 30. Raunverulegur farvegur (a); farvegur eins og er í landlíkani (b); farvegur landlíkans með vatni (c) og með vatni í dýpkuðum farvegi (d).	46
Mynd 31. Niðurstöður hermana flóðasviðmyndar með 25 ára endurkomutíma. Óbreytt landlíkan til vinstri en farvegir dýpkaðir um 0,5 m til hægri. Liturinn er í dýpi frá svörtu við 0,1 m og yfir í hvítt við 3 m.	47
Mynd 32. Tilraunir með ísstíflureikninga við þrjá staði: Ytri-Húsbakki (A), Stóru-Akrar (B) og Stokkhólma (C). Aðalupptakasvæði flóða, nálægt Úlfstöðum, er merkt með D. Seinna upptakasvæðið, við Húseyjarkvísl/Svartá, er merkt með E.	52
Mynd 33. Dæmi um staðsetningu og lögun ísblokka við fullan vöxt (við Stokkhólma).	53
Mynd 34. Hámarksútbreiðsla flóða fyrir tilfellið $Q = 25 \text{ m}^3/\text{s}$ frá upptakasvæði D.	54
Mynd 35. Hámarksútbreiðsla flóða fyrir tilfellið $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ frá upptakasvæði D.	54
Mynd 36. Lagfæring á varnargarði við Stokkhólma (mynd: Páll Friðriksson, 2021).	56
Mynd 37. Flóð í gegnum varnargarð við Stokkhólma (mynd: Páll Friðriksson, 2021).	56
Mynd 38. Flóð yfir skemmdan varnargarð sunnan við Stokkhólma eftir 7 klst rof.	57
Mynd 39. Flóð yfir skemmdan varnargarð framan við Stokkhólma eftir 14 klst. frá rofi.	57

Töfluskrá

Tafla 1. Mat á stærð flóða í Svartá (VHM 10).	21
Tafla 2. Mat á stærð flóða í Héraðsvötnum við Grundarstokk (VHM 77).	21
Tafla 3. Kvarði yfir tjónmætti flóða skv. Pagneux og Roberts (2015).	26
Tafla 4. Táknlykill af tjónmætti $vd_{\max}$ fyrir mynd 15 (sjá töflu 3).	34
Tafla 5. Hætta sem fólki stafar af flóði, sjá heimild (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2022).	36
Tafla 6. Ferðatími (í klukkustundum) fremsta hluta hverrar flóðasviðsmyndar, þ.e. fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma, sjá myndir 23 til 25 (og texta um óvissu).	41
Tafla 7. Ferðatímar hámarksflóðs frá upptökum til hinna ýmsu staða í klukkustundum, sjá myndir 23 til 25 (sjá einnig texta um óvissu).	43

Samantekt helstu niðurstaðna

Þessi skýrsla fjallar um hættumat vegna veðurorsakaðra flóða í Héraðsvötnum. Veðurorsökuð flóð eru greind í regnflóð, leysingaflóð og sambland af þessu tvennu. Þau eru algengasta gerð flóða í Héraðsvötnum. Innan verkefnisins voru einnig skoðuð áhrif sjávarflóða samhliða flóðum í Héraðsvötnum og prófanir gerðar með hermun ísstífluflóða. Rétt er að geta þess að í verkefninu er ekki tekið tillit til hættu vegna jökulhlaupa. Verkefnið er hluti af stærri verkefnabálki sem hefur fengið yfirheitið VATNAVÁ en undir því eru fjölmörg verkefni sem snúa að heildarhættumati vegna vatnsflóða á Íslandi og eru styrkt af Ofanflóðasjóði.

Vatnasvið Héraðsvatna nær yfir um 3670 km² frá upptökum til ósa (*mynd 1*), en svæðið sem hættumatið nær yfir er hins vegar mun minna eða u.þ.b. 260 km². Straumfræðilegu líkanreikningarnir sem hættumatið byggir á afmarkast að sunnan af i) brúnni yfir Húseyjarkvísl á Vindheimavegi og ii) ármótum Héraðsvatna og Norðurár við Kjálkaveg (*mynd 11*). Svæðið sem reiknað er nær niður til ósa. Reikningar eru framkvæmdir annars vegar i) þar sem sjávarhæð er sett sem sjávarmál (kafla 3.2) og hins vegar ii) miðað við sjávarstöðu sem lýsir sjávarflóði vegna veðurtengds áhlaðanda samfara hárrí sjávarstöðu vegna sjávarfalla (kafla 3.4). Eitt af markmiðum verkefnisins er að meta samfallandi áhrif sjávarflóðs í Skagafirði og vatnsflóða í Héraðsvötnum, ásamt samanburði við tilsvarende reikninga sem framkvæmdir eru við meðalsjávarhæð. Allir líkanreikningar voru framkvæmdir á ofurtölvu Háskóla Íslands í gegnum verkefnið *Rafrænir rannsóknarinnviðir (IREI)*, sem stutt var af Innviðasjóði Rannís – *Vegvísir um rannsóknarinnviði*. Þessi vinna er borin saman við þekkt flóð frá árinu 2006 og passaði mæld útbreiðsla ágætlega við reiknaða útbreiðslu (*kafla 4.3*).

Miðað er við flóð með 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma og er stærð hvers þeirra greind út frá rennslisgögnum vatnshæðarmælanna í Svartá og í Héraðsvötnum við Grundarstokk; VHM 10 og VHM 77 (*tölflur 1 og 2*). Endurkomutími gegnir veigamiklu hlutverki í hættumati flóða, því með honum eru settar fram líkur þess að flóð af ákveðinni stærð verði á tilteknu tímabili, jafnvel þó að ekki sé hægt að spá fyrir um hvenær þau verða. Skilgreina má 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma með eftirfarandi hætti:

- Með 25 ára endurkomutíma er átt við að 4% líkur séu á því að flóð af ákveðinni stærð eða stærra verði á tilteknu ári. Þó ber að athuga að yfir 25 ára tímabil getur þó hent að flóð af þessari stærð verði aldrei, einu sinni eða jafnvel oftar.
- Með 200 ára endurkomutíma er átt við að 0,5% líkur séu á því að flóð af ákveðinni stærð eða stærra verði á tilteknu ári. Yfir 200 ára tímabil getur þó hent að flóð af þessari stærð verði aldrei, einu sinni eða jafnvel oftar.
- Með 1000 ára endurkomutíma er átt við að 0,1% líkur séu á því að flóð af ákveðinni stærð eða stærra verði á tilteknu ári. Yfir 1000 ára tímabil getur þó hent að flóð af þessari stærð verði aldrei, einu sinni eða jafnvel oftar.

Sjá má ítarlegar niðurstöður líkanreikninganna yfir allt hættumatssvæðið í viðaukum III og IV. Gilda þessar niðurstöður fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma, með (*í viðauka IV*) og án (*í viðauka III*) áhrifa sjávarflóðs (*sjá kafla 3.4 um sjávarflóð*).

Samkvæmt niðurstöðu reikninga fyrir öll tilfelli, 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma, fer allt undirlendið frá Geldingaholti (sjálft Geldingaholt sleppur) og að Sauðárkróki undir vatn. Gilda þessar niðurstöður hvort sem tekið er tillit til áhrifa sjávarflóða eða ekki. Einnig nær vatnið að

umlykja flugvöllinn (*myndir 11 og 12*). Í sumum tilfellum nær að flæða yfir flugvöllinn og ber að taka slík tilfelli með fyrirvara þar sem ekki er tekið tillit til ræsa eða annarra mannvirkja sem tengjast frárennsli vatns. Það sama gildir um flóð innan bæjarmarka Sauðárkróks.

Áhrif sjávarflóða sem falla saman við vatnsflóð koma helst fram á norðurhluta hættumatssvæðisins, frá strönd Skagafjarðar suður að Kjartansstöðum og Húsabakka (*kafla 4.1.2*). Áhrifin eru lítil þegar lítið er til útbreiðslu flóðanna en meiri þegar kemur að hámarksdýpi vatns, $d_{\max}$, (*sjá kafla 3.2.2*). Í Austari-Héraðsvötnum eykst dýpi um einn metra en um það bil hálfan metra í þeim vestari. Þessi dýpkun nær þó yfir stærra svæði í Vestari-Héraðsvötnum (*sjá mynd 13*).

Tjónmætti flóða er hér skilgreint sem margfeldi af hámarksdýpi og hámarkshraða $vd_{\max}$ (*kaflar 3.2.2 og 3.3*). Þar sem veðurorsökuð flóð rísa yfirleitt hægt og gefa yfirleitt nægan tíma til að rýma fólk er tjónmætti hér fyrst og fremst metið með tilliti til mögulegs eignatjóns en síður hugsanlegar hættu fyrir fólk.

Tjónmætti segir þó ekkert til um raunverulegar afleiðingar eða skemmdir á eignum, þar sem slíkt fer eftir gerð og útfærslu hvers mannvirkis eða tjónnæmi þess. Stór stíflumannvirki geta til dæmis orðið fyrir litlu sem engu tjóni þótt þau standi á svæði með hátt tjónmætti, einfaldlega vegna þess að þau þola umtalsverð flóð. Því er það í verkahring eigenda eða annarra haghafa að nýta upplýsingar um tjónmætti til að móta aðgerðaáætlanir, gera lagfæringar og annað slíkt fyrir tiltekið mannvirki (*kafla 4.1.3*).

Við Austari-Héraðsvötn er tjónmætti yfirleitt lítið (gult), fyrir utan smærri reiti þar sem það telst hóflegt (appelsínugult). Við Vestari-Héraðsvötn og Miklavatn er hóflegt tjónmætti hins vegar meira áberandi. Þar sést einnig stærri aukning eftir því sem endurkomutími lengist úr 25 árum upp í 1000 ár. Austan við bæina Páfastaði og norður að Reynisstað er svæði þar sem tjónmætti er mikið (rautt) og svipuð rauð svæði eru austur af Geldingaholti. Umfang þessara rauðu svæða eykst með hærri endurkomutíma. Tjónmætti er einnig mikið meðfram aðalfarvegi Héraðsvatna frá Grundarstokk að upptökum líkanreikninganna við ármót Héraðsvatna og Norðurár (*mynd 15*). Svæði með geysimikla hættu (eldrautt) eru fá á hættumatssvæðinu. Slíkt ástand birtist einkum nær upptökum reikningsins og á litlu svæði nálægt Reykjatungu.

Mjög svipað eignartjónmætti $vd_{\max}$ kemur fram óháð því hvort sjávarhæð er við sjávarmál eða við sjávarflóð (*viðaukar III og IV*). Samkvæmt svokölluðum *hr*-stuðli (*sjá skilgreiningu í viðauka II*) eykst hins vegar hættu sem fólk stendur frammi fyrir þegar sjávarflóð fellur saman við flóð í ánni. Sú aukna hættu nær upp með ánni allt að suðurenda Hegranness (*myndir 16 til 18*).

Í líkanreikningum var prófað að loka alveg fyrir rennsli til Austari-Héraðsvatna (*mynd 19*) til að meta áhrifin á Vestari-Héraðsvötn. Vatnsborð í Vestari-Héraðsvötnum hækkaði misjafnlega eftir staðsetningu og mest um tæpan hálfan metra. Rennslishraði jókst einnig (*mynd 21*), en útbreiðsla flóða var þó svipuð fyrir og eftir lokun (*mynd 20*). Niðurstöðurnar sýna því að, líkt og í reikningum án lokunar, fer allt undirlendið frá Geldingaholti (sjálft Geldingaholt sleppur) og að Sauðárkróki undir vatn. Vatnið nær einnig norður fyrir flugvöllinn og umlykur hann (*kafla 4.1.4*).

Ferðatími flóðstafns, það er upphaf eða fremsti hluti flóðsins, var mældur frá upptökum hermunar, nálægt ármótum Héraðsvatna og Norðurár (*mynd 9*). Miðað við þennan upphafspunkt nær flóðstafninn að Stokkhólma eftir 4,5 klst, Grundarstokk eftir 6 klst, Ytri-Húsabakka eftir 12,5 klst og Borgarsandi eftir 31 klst. Gildir þetta fyrir öll tilfelli 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma (*kafla 4.2*).

Fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma er ferðatími hámarksflóðsins frá upptökum hermana (nálægt ármótum Héraðsvatna og Norðurár) að Borgarsandi um 24, 17 og 11 klukkustundir. Með öðrum orðum minnkar viðbragðstíminn um rúmlega helming frá 25 til 1000 ára endurkomutíma.

Hermun ísstífluflóða hefur reynst torsótt verkefni, einkum vegna næmni slíkra reikninga fyrir annars vegar réttu ástandi landlíkans og hins vegar upplýsingum um botn farvega. Þessar upplýsingar eru yfirleitt ekki tiltækar. Hermun ísstífluflóða er því á tilraunastigi og ekki eru gefin út hættumatskort byggð á þeim niðurstöðum. Hægt er þó að skoða niðurstöður þessara hermana í viðauka I.

1 Inngangur

Í desember 2014 samþykkti Alþingi breytingu á lögum nr. 47 frá 1997 um varnir gegn snjóflóðum og skriðuföllum. Með breytingunni var heimilað að nota fé Ofanflóðasjóðs til að standa straum af hluta kostnaðar við hættumat vegna eldgosa, vatnsflóða og sjávarflóða. Í kjölfarið fékkst fjármagn til að hefja vinnu við hættumat vegna vatnsflóða á Íslandi. Verkefnið hefur fengið yfirheitið VATNAVÁ og undir því eru fjölmörg verkefni sem snúa að hættumati vegna vatnsflóða á einn eða annan hátt.

Í fyrsta áfanga áætlunarinnar, frá 2015 til 2018, var lagt upp með tvö sérstök verkefni. Í fyrsta lagi var gerð samantekt um söguleg flóð á vatnasviðum Eyjafjarðarár, Héraðsvatna, Hvítár í Borgarfirði, Lagarfljóts og Skjálfafljóts þar sem raktar eru orsakir flóðanna, ártíðasveiflur, stærð þeirra og afleiðingar (Emmanuel Pagneux o.fl., 2017). Í öðru lagi var unnið að yfirliti um aðferðafræði við áhættumat vatnsflóða og skilgreiningu áhættuviðmiða sem notuð eru í öðrum löndum. Markmiðið var að meta hvort hægt væri að nýta sams konar aðferðafræði hér á landi og leggja fram tillögur að áhættuviðmiðum (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2022).

Í öðrum áfanga áætlunarinnar, frá 2017 til 2022, var lagt upp með að framkvæma straumfræðilega líkanreikninga, það er hermanir, og gera hættumatskort fyrir ofangreind svæði undir verkefninu *Hættumat vatnasviða*. Þar voru hermd árflóð með mismunandi endurkomutíma, reiknað flóðdýpi og straumhraði og lagt mat á áhrifasvæði flóða (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2021). Í framhaldi af þeirri vinnu var ákveðið að gera sérstaka grein fyrir hættumati vegna vatnsflóða í Héraðsvötnum og er það viðfangsefni þessarar skýrslu. Hér er gerð ítarlegri grein fyrir niðurstöðum straumfræðilegra líkanreikninga fyrir Héraðsvötn, meðal annars með upplýsingum um ferðatíma og næmnigreiningu á niðurstöðunum. Markmiðið er að gefa raunsætt mat á umfangi, útbreiðslu og hættu vegna vatnsflóða í Héraðsvötnum með hættumatskortum.

Unnið er með þrjár sviðsmyndir: flóð með 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma. Flóðagreiningin byggir á rennslisgögnum vatnshæðarmælanna í Svartá og í Héraðsvötnum við Grundarstokk, *VHM 10* og *VHM 77 (töflur 1 og 2)*. Innan verkefnisins voru einnig skoðuð áhrif sjávarflóða samhliða flóðum í Héraðsvötnum, en rétt er að taka fram að hér er ekki tekið tillit til hættu vegna jökulhlaupa.

Í viðauka þessarar skýrslu eru athuguð áhrif ísstífluflóða með hjálp hermana. Sú vinna hefur reynst mjög torsótt, einkum vegna næmni slíkra reikninga fyrir ástandi landlíkans og botni farvega en upplýsingar um það eru takmarkaðar. Þessar hermanir eru á tilraunastigi og ber að skoða niðurstöður með það í huga. Af þessum ástæðum eru engin hættumatskort gefin út á grundvelli niðurstaðna ísstífluhermana í þessari skýrslu.

2 Greining flóða

2.1 Stutt yfirlit yfir söguleg flóð

Um fjöllumarefni þessarar skýrslu eru veðurorsökuð flóð, en einnig eru til aðrar gerðir flóða, til dæmis jökulhlaup, mannvirkjaflóð og viðburðaflóð. Veðurorsökuð flóð orsakast af veðurfari og eru greind í regnflóð, leysingaflóð og sambland af þessu tvennu. Slík flóð eru algengust í Héraðsvötnum (Emmanuel Pagneux o.fl., 2017).

Í skýrslu um söguleg flóð á vatnasviði Héraðsvatna og fleiri vatnasviða (Emmanuel Pagneux o.fl., 2017) voru flóð greind með upplýsingum frá tímaritum, bókum, skýrslum, myndum, mælingum á rennsli og veðurgögnum. Ritaðar heimildir um atburðina á vatnasviði Héraðsvatna fundust í tímaritum og fréttablöðum sem aðgengileg voru í stafrænu safni. Þar voru einnig skoðuð úrkomu- og hitagögn frá veðurstöðvum. Unnt var að afmarka 63 flóðaatburði með mikilli vissu. Langflestir áttu sér stað eftir 1850 og í nokkrum tilfellum urðu fleiri en eitt flóð á sama ári. Til að mynda flæddu Héraðsvötn í þremur aðskildum atburðum árið 1956. Þeir atburðir sem urðu fyrir 1850 og til eru heimildir um, gerðust 1612, 1637, 1703, 1713 og 1716.

Af þeim flóðum í Héraðsvötnum sem hægt var að greina orsök fyrir voru 75 prósent tilkomin vegna leysinga og/eða úrkomu. Þar af voru 61 prósent vegna leysinga eða sem sambland úrkomu og leysinga, en 14 prósent tilvika má rekja eingöngu til úrkomu. Leysingarflóð reyndust líklegust í febrúar og júní miðað við aðra mánuði ársins. Flest samblönduð leysinga- og regnflóð urðu yfirleitt á fyrstu sex mánuðum ársins, en regnflóð eitt og sér gátu komið fram á öllum árstímum og enginn mánuður skar sig þar sérstaklega úr (Emmanuel Pagneux o.fl., 2017).

Þess ber að geta að hér er ekki fjallað sérstaklega um áhrif loftslagsbreytinga á flóð í Héraðsvötnum. Innan Veðurstofunnar er unnið að heildstæðu mati á áhrifum loftslagsbreytinga á flóð á Íslandi og mun þar verða hægt að leita upplýsinga um áhrif hlýnunar á stærð, tímasetningu og endurkomutíma flóða. Almennt má þó segja að hlýnun leiði til meiri úrkomuákefðar sem líklegt er að auki alvarleika flóða. Stærð flóða ræðst þó af mörgum þáttum, meðal annars landslagi, eðli vatnasviðs, varanda rigningar og eiginleikum jarðvegarins sem úrkoman fellur á. Í samantektarskýrslum vísindanefndar um loftslagsbreytingar (2023) kemur fram að hlýnun geti breytt tímasetningu rigninga og leysingaflóða, til dæmis þannig að vetrarflóð verði algengari á svæðum þar sem vorflóð eru nú ríkjandi. Þetta á við í tilfelli Svartár, þar sem niðurstöður Philippe Crochet (2022) sýna að hámarksflóð ársins verði sjaldnar að vori en oftar að vetri.

2.2 Vatnasvið og hættumatssvæði

Mynd 1 sýnir vatnasvið Héraðsvatna sem spannar um 3670 km² frá upptökum til ósa. Héraðsvötn eru um 130 km löng jökulá með upptök í Hofsjökli og rennur til sjávar í Skagafirði. Á myndinni má jafnframt sjá staðsetningu vatnshæðamæla á láglandi, merkt VHM 10 í Svartá, VHM 77 í Héraðsvötnum, VHM 144 í Austari Jökulsá og VHM 145 í Vestari Jökulsá.

Svæðið sem hættumatið nær yfir er þó minna en vatnasviðið sjálft, eða um 260 km², frá syðstu upptökum líkanreikninga og niður að ósum Héraðsvatna. Útbreiðslu flóða á þessu svæði má sjá á mynd 10 þegar farið er yfir niðurstöður hermana í kafla 4.

Héraðsvötn myndast úr tveimur meginvatnsföllum, þ.e. Vestari - og Austari-Jökulsá. Neðri hluti árinna skiptist svo aftur í tvær kvíslar, Vestari- og Austari-Héraðsvötn, sem renna til sjávar hvort sínu megin við Hegranaes. Helstu þverár Héraðsvatna eru Norðurá austan megin og Svartá (Húseyjarkvísl) vestan megin.



Mynd 1. Vatnasvið Héraðsvatna ásamt staðsetningu vatnshæðamæla á láglendi.

Vatnshæðarmælir VHM 10 er á vinstri bakka Svartár, sé horft niður eftir ánni, og stendur 40 m fyrir ofan Reykjafoss. Hann er rekinn sem rennslisstöð. Staðsetningu má einnig sjá á mynd 1.

Á þessum stað eru til samfelldar mælingar frá 1. september 1932 og er það lengsta samfellda mæliröð sem þekkt er úr íslenskum vatnsföllum (Snorri Zóphóníasson og Bjarni Kristinsson, 1997).

Vatnshæðamælir VHM 77 er á hægri bakka Héraðsvatna, hjá gömlu brúnni við Grundarstokk. Mæliröðin nær aftur til 8. október 1966 (Emmanuel Pagneux o.fl., 2017). Mælirinn hefur verið rekinn sem vatnsborðsstöð frá 1. janúar 1992 en var áður rennslisstöð (Veðurstofa Íslands, 2016). Árið 2015 var gefin út greinargerð með rennslisröð mælisins frá 1966 til 2014 (Hilmar Björn Hróðmarsson, 2015) og voru niðurstöður hennar nýttar í flóðagreiningu við Grundarstokk. Fram kemur í greinargerðinni að áin hleður undir sig efni og er lágmarksvatnshæðin því alltaf að hækka. Þetta þýðir að lykillinn breytist með tíma, nokkuð sem eykur á óvissu við rennslismat. Þrátt fyrir þetta eru gögn úr mælinum notuð innan verkefnisins þar sem mælar ofar á vatnasviðinu gefa aðeins upplýsingar um hluta þess rennslis sem kemur fram við Grundarstokk.

Þar sem nær allt flóðvatnið sem rennur niður vatnasviðið fer annaðhvort um VHM 10 eða VHM 77 er unnt að meta innbyrðis stærð flóðanna með því að reikna summu dags-meðalrennslis einvörðungu frá þessum tveim mælum (Emmanuel Pagneux o.fl., 2017). Út frá þessu er einnig hægt að nýta hámarksrennslíð við þessa tvo mæla við myndun inntaksgagna fyrir hermanir þessa verkefnis (sjá kafla 2.4 og 2.5).

2.3 Stærð og umfang flóða

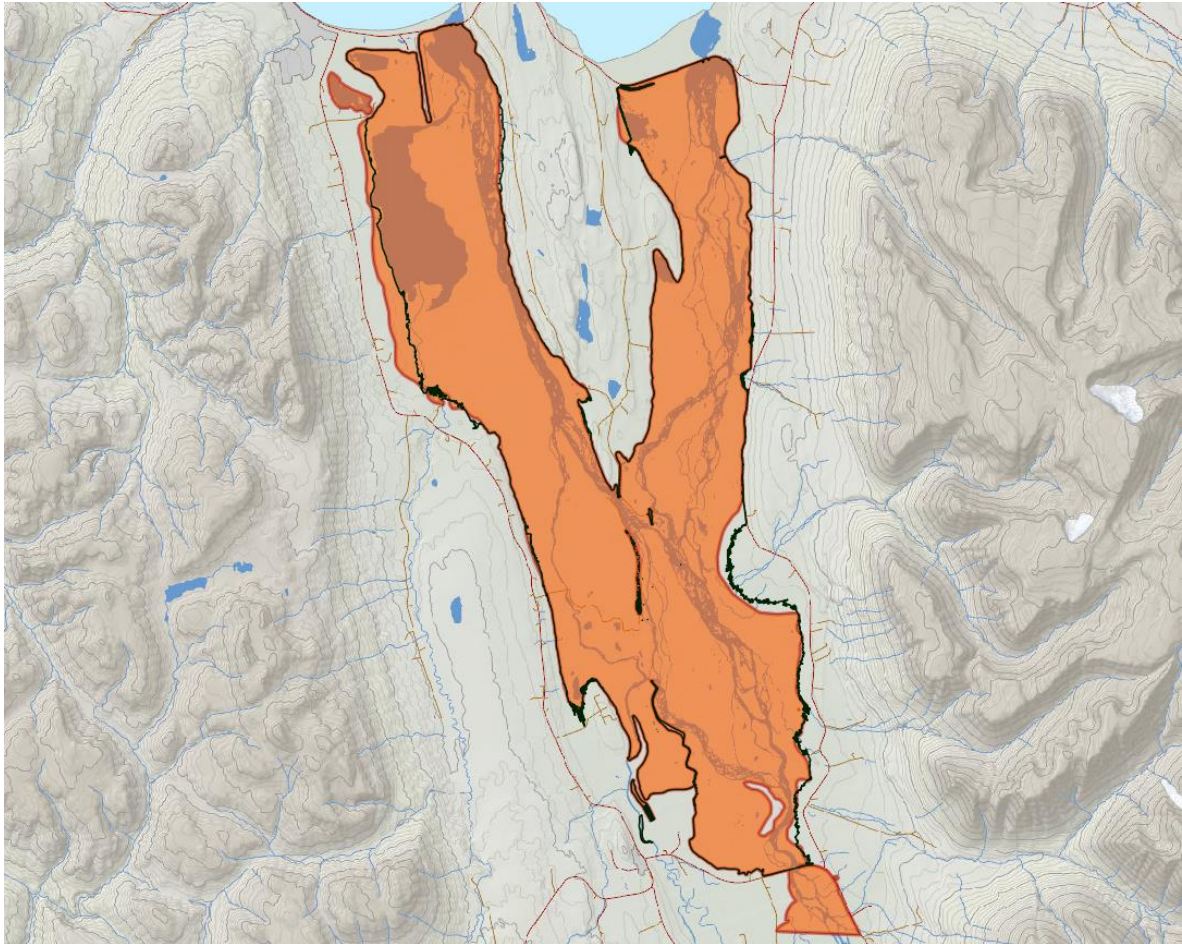
Samkvæmt hámarksaugnabliksrennslis er mesta skráða flóð sem mælt hefur á vatnasviði Héraðsvatna regn- og leysingarflóð sem varð þann 20. desember 2006. Mesta augnabliksrennslíð náði þann dag $1044 \text{ m}^3/\text{s}$ við Grundarstokk (þ.e. VHM 77), $780 \text{ m}^3/\text{s}$ við Skatastaði (VHM 144 í Austari Jökulsá) og $212 \text{ m}^3/\text{s}$ við Goðdalabru (VHM 145 í Vestari Jökulsá).

Við Reykjafoss var hins vegar stærsti atburðurinn regn- og leysingarflóð þann 30. maí 1994 þar sem hámarksrennslí náði $183 \text{ m}^3/\text{s}$ (VHM 10).

Samanlagt meðaldagsrennslí við Reykjafoss og Grundarstokk náði hámarki þann 20. desember 2006 og varð þá samtals $720 \text{ m}^3/\text{s}$, samkvæmt aðgengilegum gögnum.

Eins og fyrr var nefnt, er flóðið 20. desember 2006 talið það stærsta sem hefur orðið í Héraðsvötnum á tímabilinu sem mæligögn eru fyrirliggjandi. Það er eina flóðið á þessu svæði þar sem tiltæk landfræðigögn teljast nægileg til að meta umfang þess fyrir neðsta hluta vatnasviðsins (Emmanuel Pagneux o.fl., 2017). Útbreiðsla flóðsins var kortlögð að hluta til af Vatnamælingum Orkustofnunar árin 2007–2008. Mælingin náði frá Stóru-Ökrum/Ytra-Vallholti til sjávar og var þessi greining gefin út árið 2010 (Veðurstofa Íslands, 2010).

Ofangreind vinna var endurmetin árið 2017 af Veðurstofu Íslands (Emmanuel Pagneux o.fl., 2017) og gaf svipaða niðurstöðu. Eru báðar niðurstöðurnar sýndar á mynd 2.



Mynd 2. Áætluð útbreiðsla flóðs desember 2006, samkvæmt mati frá árinu 2010 (litað svæði) og samkvæmt endurmati árið 2017 (svört lína).

2.4 Endurkomutími flóða

2.4.1 Skilgreining endurkomutíma

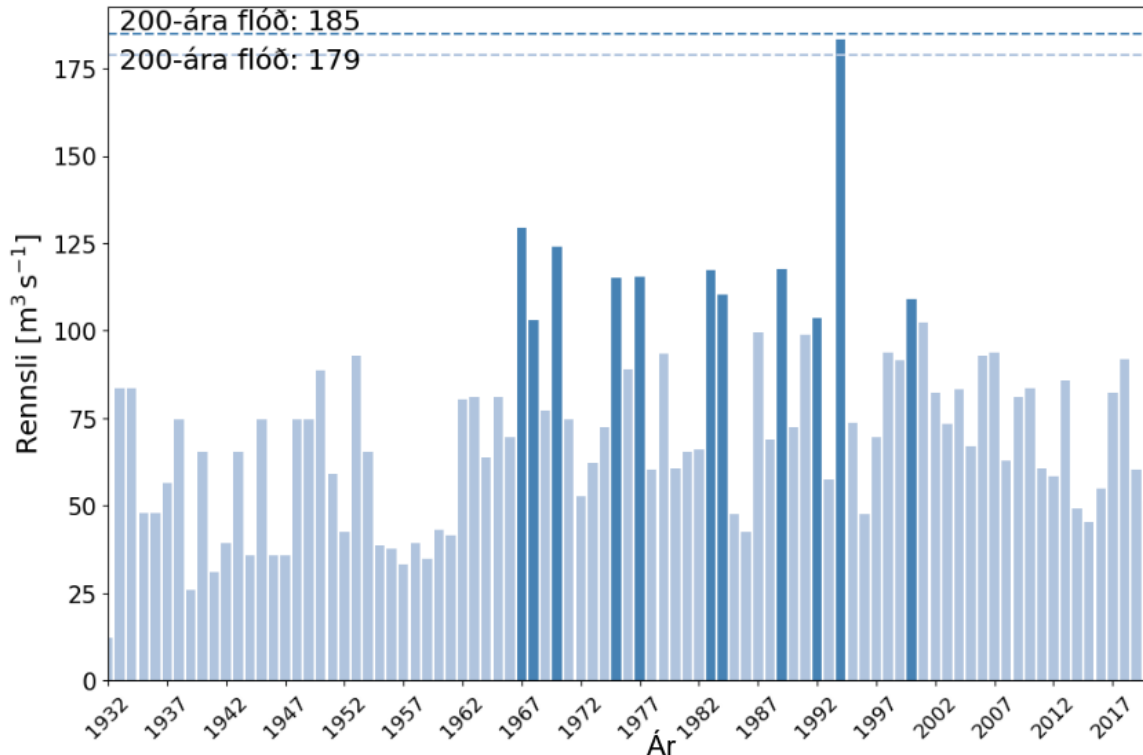
Endurkomutíma má skilgreina sem meðaltal þess tíma sem líður milli atburða af ákveðinni stærð eða stærri. Endurkomutími gegnir veigamiklu hlutverki í hættumati flóða, því með honum eru settar fram líkur þess að flóð af ákveðinni stærð verði á tilteknu tímabili, jafnvel þótt ekki sé hægt að spá fyrir um hvenær þau gerast. Fyrir flóð með 100 ára endurkomutíma er átt við að 1% líkur séu á því að flóð af þeirri stærð eða stærra verði á tilteknu ári, en yfir 100 ára tímabil getur þó hent að flóð af þeirri stærð verði aldrei, einu sinni eða jafnvel oftar. Í þessu verkefni er unnið út frá flóðum með 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma.

- Með 25 ára endurkomutíma er átt við að 4% líkur séu á því að flóð af ákveðinni stærð eða stærra verði á tilteknu ári. Þó ber að athuga að yfir 25 ára tímabil getur þó hent að flóð af þessari stærð verði aldrei, einu sinni eða jafnvel oftar.
- Með 200 ára endurkomutíma er átt við að 0,5% líkur séu á því að flóð af ákveðinni stærð eða stærra verði á tilteknu ári. Yfir 200 ára tímabil getur þó hent að flóð af þessari stærð verði aldrei, einu sinni eða jafnvel oftar.
- Með 1000 ára endurkomutíma er átt við að 0,1% líkur séu á því að flóð af ákveðinni stærð eða stærra verði á tilteknu ári. Yfir 1000 ára tímabil getur þó hent að flóð af þessari stærð verði aldrei, einu sinni eða jafnvel oftar.

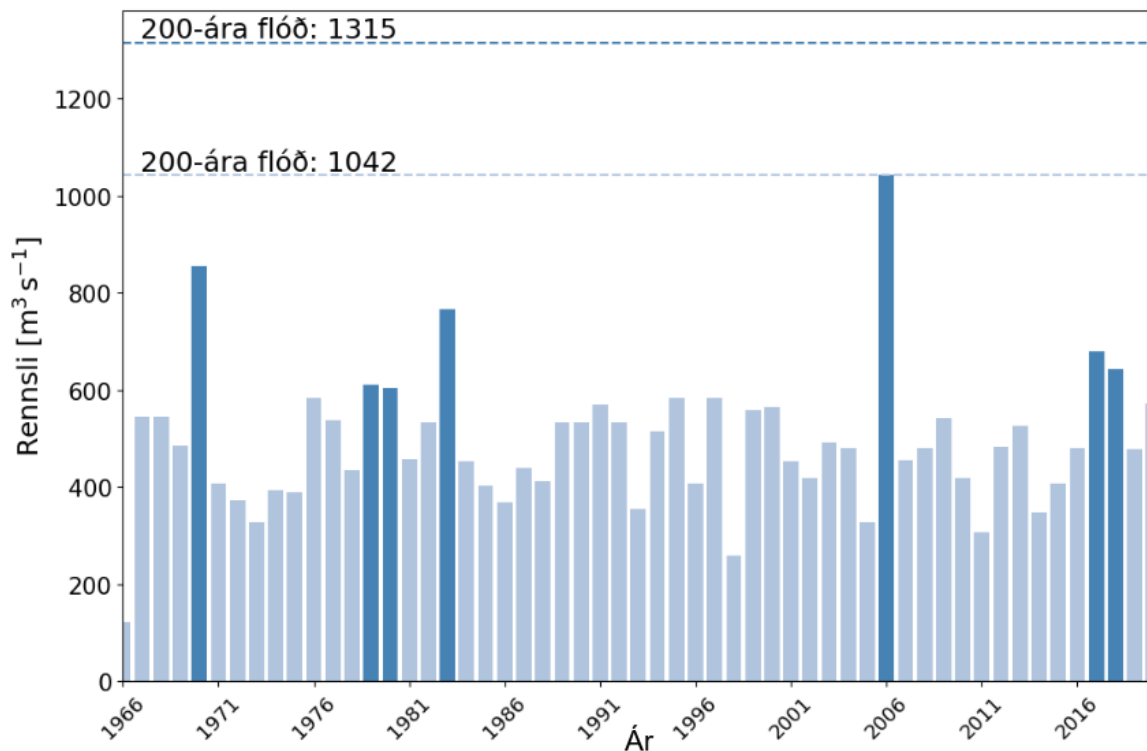
2.4.2 Stærstu flóð

Til þess að unnt sé að reikna endurkomutíma flóða þarf að greina tiltæk rennslisgögn. Annaðhvort þarf að nýta stærsta flóð hvers árs eða nýta öll flóð yfir ákveðinni lágmarksstærð (þröskuldsildi). Þegar skoðaðir eru atburðir héraðs með meira en 10 ára endurkomutíma hefur það sýnt sig að sáralítill munur er á niðurstöðum þessara tveggja aðferða (Kristinn Guðmundsson, 1993). Í núverandi skýrslu er fyrri aðferðin notuð (þ.e. stærsta flóð hvers árs).

Myndir 3 og 4 sýna mestu augnabliksgildi hvers árs við vatnshæðarmæli VHM 10 fyrir tímabilið 1932 – 2020 og við vatnshæðarmæli VHM 77 fyrir tímabilið 1966 – 2020. Þessi gögn eru nýtt fyrir neðan í kafla 2.4.3 við tíðnigreiningu flóða.



Mynd 3. Mesta augnabliksrennsli [m^3/s] hvers árs við vatnshæðarmæli VHM 10 (Svartá) yfir tímabilið 1932–2020. Tvö rennslisgildi fyrir 200 ára flóð eru sýnd með brotalínunum, annað þar sem notast er við allt gagnasafnið í flóðagreiningu en hitt byggir aðeins á hæstu flóðum sem sýnd eru með dökkbláum súlum.



Mynd 4. Mesta augnabliksrennsli [m^3/s] hvers árs við vatnshæðarmæli VHM 77 (Grundarstokkur) yfir tímabilið 1966–2020. Tvö rennslisgildi fyrir 200 ára flóð eru sýnd með brotalínum, annað þar sem notast er við allt gagnasafnið í flóðagreiningu en hitt byggir aðeins á hæstu flóðum sem sýnd eru með dökkbláum súlum.

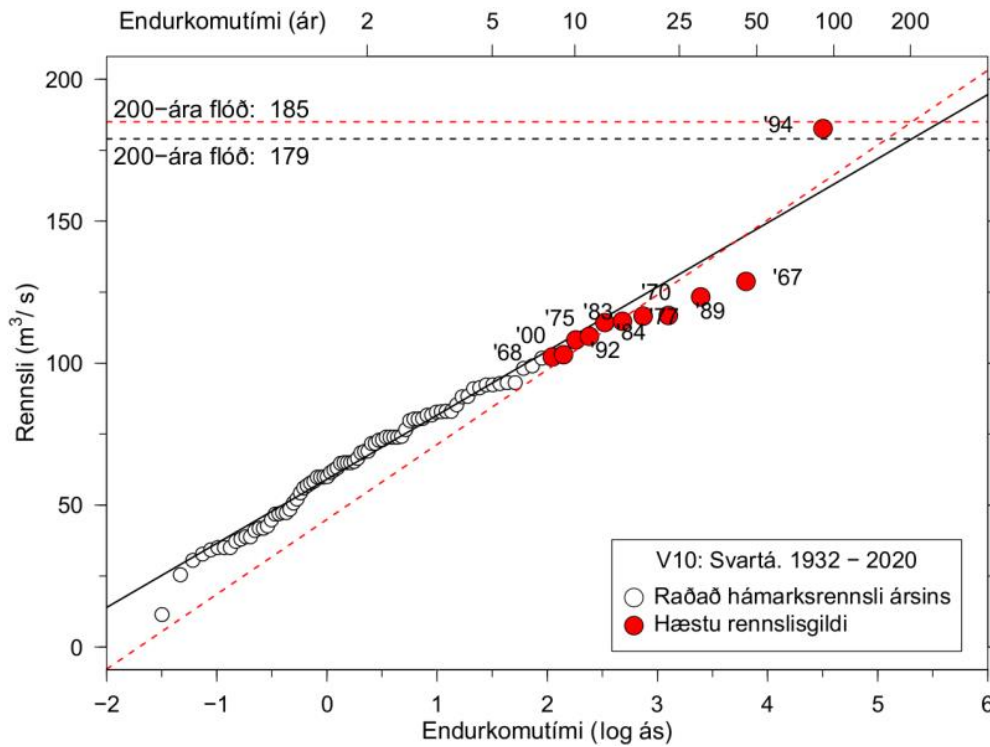
2.4.3 Tíðnigreining flóða

Þegar rennsli hefur verið mælt um árabil, helst í nokkra áratugi, er unnt reikna út meðalendurkomutíma flóða af tiltekinni stærð með allgóðri nákvæmni. Mat á endurkomutíma verður því nákvæmara sem mæliröðin er lengri. Tíðnigreining flóða lýsir sambandi flóða og endurkomutíma þeirra. Grunnhugmyndin er að taka mestu flóð hvers árs og raða þeim í fallandi röð. Eins og nefnt var í kafla 2.4.2 eru tvenns konar aðferðir sem tíðkast við val á flóðum til tíðnigreininga. Annars vegar er mesta flóð hvers árs valið og hins vegar eru tekin öll flóð sem fara yfir ákveðið lágmarksgildi. Hér á landi hefur nánast eingöngu verið notast við fyrri aðferðina, það er að velja mesta flóð ársins (Emmanuel Pagneux o.fl., 2017).

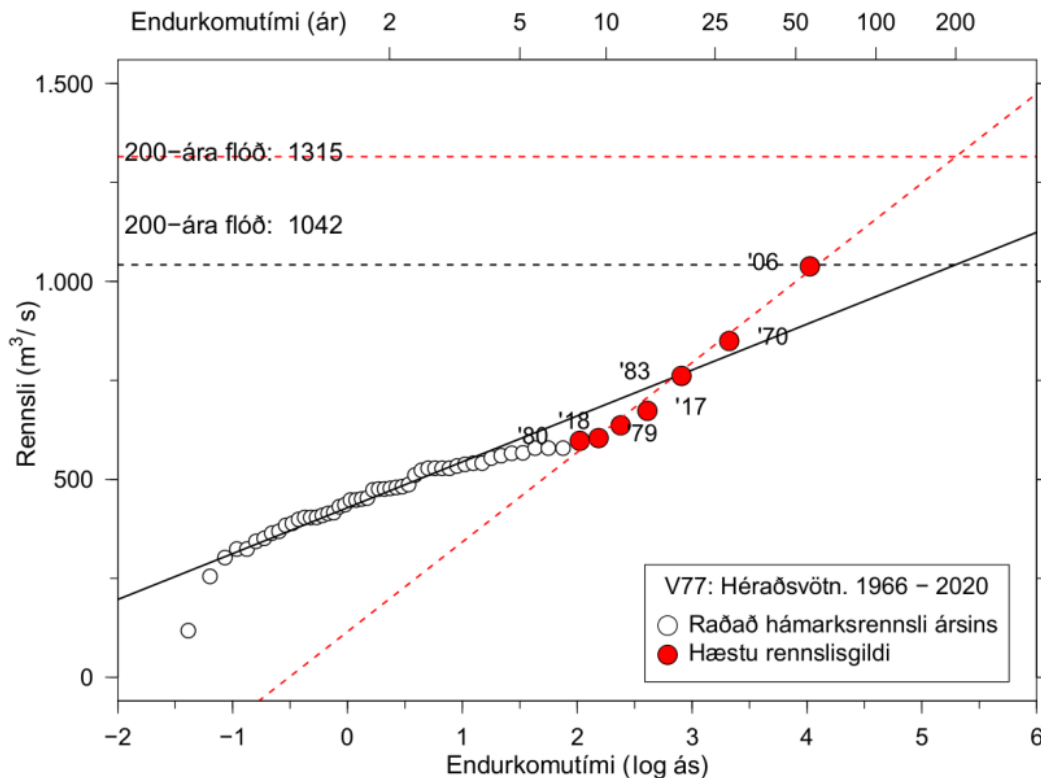
Í heimild (Emmanuel Pagneux o.fl., 2019) var notast við endurkomutímana 25, 100 og 200 ár og áætlað var að nota sams konar viðmið fyrir vinnu við hættumat á öðrum vatnasviðum. Við skoðun á endurkomutíma flóða og flóðaútbreiðslu innan þessa verkefnis reyndist hins vegar lítill munur á stærð og útbreiðslu flóða með 100 og 200 ára endurkomutíma. Ástæður þess geta verið ýmsar, s.s. óvissa í landhæðargögnum þar sem botn farvega er ekki mældur, óvissa í rennslisröðum og mati á endurkomutíma svo eitthvað sé nefnt. Því var ekki talið raunsætt að reikna útbreiðslu flóða með 100 og 200 ára endurkomutíma og birta niðurstöður á korti þar sem munur á milli niðurstaðna gæti jafnvel reynst innan óvissumarka. Ákveðið var að miða við mat á flóðum með 200 ára endurkomutíma sem getur í raun verið ígildi 100–200 ára endurkomutíma, auk þess sem notast var við 25 ára endurkomutíma sem mat fyrir algengari flóð.

Í ljósi þess að mörg þeirra landa sem tekið hafa upp flóðatilskipun Evrópusambandsins notast við allt upp í 1000 ára endurkomutíma (European Commission, 2016) var ákveðið að nýta það sem þriðju flóðasviðsmyndina innan verkefnisins. Því er miðað við að kortleggja útbreiðslu flóða með

25, 200 og 1000 ára endurkomutíma, þrátt fyrir að ljóst sé að mikil óvissa fylgi mati á flóðastærð með svo löngum endurkomutíma.



Mynd 5. Endurkomutími 200 ára flóðs metinn út frá mældu rennsli við vatnshæðarmæli VHM 10 yfir tímabilið 1932–2020 (mynd 3). Svarta línan sýnir aðhvarfslínu í gegnum allt gagnasafnið en sú rauða í gegnum hæstu rennslisgildi (rauðir punktar).



Mynd 6. Endurkomutími 200 ára flóðs metinn út frá mældu rennsli við vatnshæðarmæli VHM 77 yfir tímabilið 1966–2020 (mynd 4). Svarta línan sýnir aðhvarfslínu í gegnum allt gagnasafnið en sú rauða í gegnum hæstu rennslisgildi (rauðir punktar).

Endurkomutími 25 og 200 ára flóðs hefur áður verið ákvarðaður fyrir báða vatnshæðarmæla VHM 10 og 77 (Hilmar Björn Hróðmarsson og Tinna Þórarinsdóttir, 2018). Hér er sú greining endurunnin með nýjustu gögnum til að meta 1000 ára flóðið. Til að ákvarða endurkomutíma flóða er aðhvarfslína fyrir valda líkindadreifingu felld í gegnum hæstu rennslisgildi (Emmanuel Pagneux o.fl., 2019). Í þessu tilfelli er hæsta augnabliksgildi hvers árs notað (myndir 3 og 4) með Weibull-líkindadreifingunni (Andréa-Giorgio R. Massad o.fl., 2020). Í sumum tilfellum sveigja stærstu flóðin töluvert frá aðhvarfslínunni (svört lína) og er þá önnur aðhvarfslína felld í gegnum hæstu rennslisgildin (rauð lína) og er þetta sýnt á myndum 5 og 6. Hámarksrennsli fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma er hér ákvarðað á milli gildanna sem fást með þessum tveimur aðhvarfslínum, fyrir sitt hvorn mælistaðinn. Gildin eru útlistuð í töflu 1 fyrir VHM 10 og í töflu 2 fyrir VHM 77.

Tafla 1. Mat á stærð flóða í Svartá (VHM 10).

Endurkomutími (ár)	Hámarksrennsli (m ³ /s)
25	140
200	180
1000	240

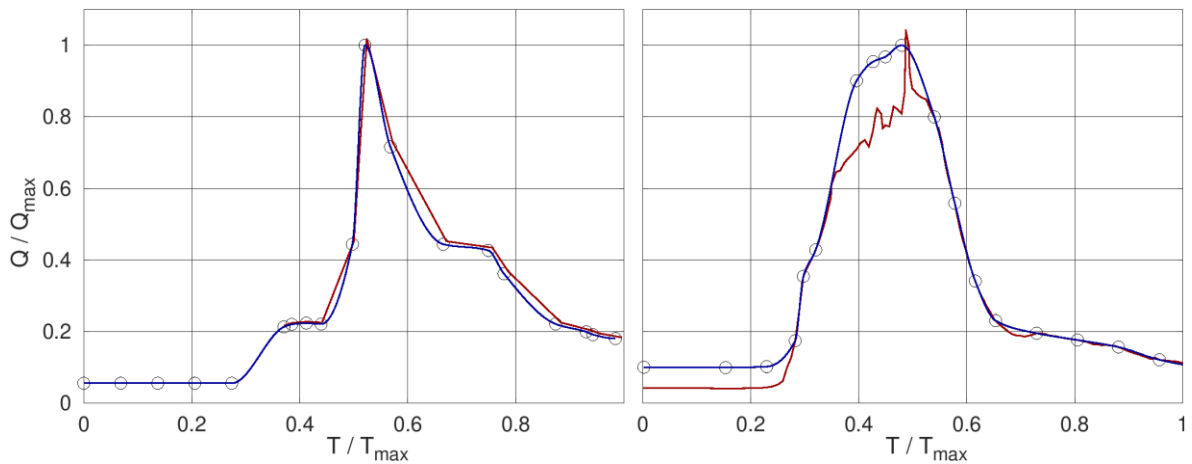
Tafla 2. Mat á stærð flóða í Héraðsvötnum við Grundarstokk (VHM 77).

Endurkomutími (ár)	Hámarksrennsli (m ³ /s)
25	850
200	1300
1000	1700

2.5 Rennslisrit fyrir Héraðsvötn og Svartá

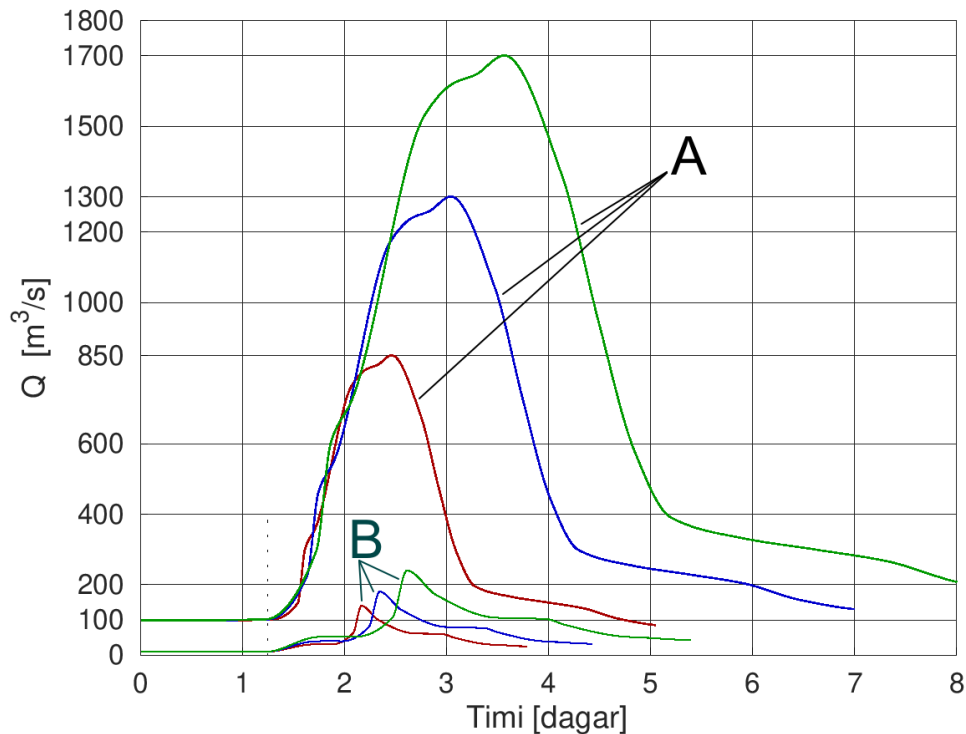
Gildin í töflum 1 og 2 lýsa aðeins hámarksrennsli fyrir tiltekið rennslisrit en einnig þarf að ákvarða lögun eða form rennslisritsins sem fall af tíma.

Fyrir vatnshæðamælinn VHM 77 er miðað við vatnsritið frá flóðinu í desember 2006. Hins vegar fyrir VHM 10 er notast við vatnsritið frá mánaðamótunum maí–júní 1994 (sjá umræðu í byrjun kafla 2.3). Mynd 7 sýnir sköluð rennslisrit fyrir þessi tvö tilfelli. Ákveðin mæliskekkja kemur fram í mælingunum nærri toppnum á flóðinu 2006 við VHM 77. Því er notast við brúun á milli nokkurra áætlaðra punkta, fyrir tímabilið milli skalaða einingalaus tímans 0,35 til 0,55, til að sú skekkja hafi ekki áhrif á lögun skalaða rennslisritsins. Einnig er notast við brúun (e. *cubic interpolation*) á milli ákveðinna punkta í mæliferlinu til að fá fram ávalari rennslisferla fyrir önnur tímabil við VHM 77 og við VHM 10. Á mynd 7 eru upphaflegu rennslismælingarnar sýndar með rauðum ferli, brúunin með bláum ferli og brúunarpunktarnir með „O“ punktum.



Mynd 7. Kvörðuð rennslisrit fyrir VHM 10 (vinstri) og VHM 77 (hægri). Upphaflegt rennslisrit er sýnt með rauðum ferli, brúunin af því með bláum ferli og brúunarpunktarnir með „O“ punktum.

Þar sem nær allt flóðvatnið á vatnasviðinu rennur um VHM 10 eða 77 er gengið út frá því að hægt sé að nota lokaniðurstöðuna, það er sameining myndar 7 og taflna 1 og 2, sem rennslisrit fyrir Héraðsvötn og Húseyjarkvísl/Svartá. Með þetta í huga eru sköluðu ritin á mynd 7 stækkuð hlutfallslega þannig að hámarksgildi hvers endurkomutíma í töflum 1 og 2 passi við hámarksgildi hvers rennslisrits. Í öllum tilfellum er grunnrennsli $10 \text{ m}^3/\text{s}$ sett við VHM 10 og $100 \text{ m}^3/\text{s}$ við VHM 77. Þessi gildi voru gróflega áætluð út frá meðalrennsli vatnsfallanna. Lokarennslisritin má sjá á mynd 8 og eru þessi rit þá notuð í hermunum (sjá kafla 3.1 og 3.2).



Mynd 8. Rennslisrit fyrir Héraðsvötn (A) og Húseyjarkvísl/Svartá (B). Rautt gildir fyrir 25 ára endurkomutíma, blátt fyrir 200 ára og grænt fyrir 1000 ára endurkomutíma. Sjá einnig mynd 9, kafla 3.2, um staðsetningu þessara upptakasvæða (A og B) á korti.

3 Aðferðir

3.1 Hugbúnaður

Við hermun veðurorsakaðra flóða er notað tvívítt líkan sem getur reiknað dreifingu flóðvatns á stórum svæðum sem flóðið nær til. Straumfræðilíkanið GeoClaw (Clawpack Development Team, 2020) framkvæmir slíka reikninga með dýpiseilduðum jöfnum Navier–Stokes (e. *shallow water equations*), þ.e. varðveisla skriðþunga er reiknuð fyrir tvívíða hreyfingu vatns. Samhliða þessu er varðveislujafna massans (þ.e. samfellujafnan) einnig reiknuð. Undanfarin ár hefur þetta líkan verið notað með góðum árangri hjá Veðurstofu Íslands

GeoClaw-líkanið er hluti af forritapakkanum ClawPack (e. *Conservation Laws Package*). ClawPack var upphaflega þróaður af Randall LeVeque og síðar einnig af öðrum með stuðningi frá University of Washington, Boeing, Norska rannsóknarráðinu (NFR) og fleiri aðilum. Líkanið er opinn hugbúnaður (e. *open source*) sem hefur reynst nauðsynlegur kostur þegar það er keyrt á ofurtölvu fyrir háhraðareikninga. Þetta er einn kostur GeoClaw fram yfir ýmis önnur líkön sem standa til boða til straumfræðireikninga flóða, þar sem flæði vatns stjórnað af undirliggjandi landlíkani og hrýfisstuðli Mannings.

Allir líkanreikningar núverandi verkefnis voru framkvæmdir á ofurtölvu Háskóla Íslands, í gegnum samstarfið *Rafrænir rannsóknarinnviðir (IREI)*, sem stutt var af Innviðasjóði Rannís – *Vegvísir um rannsóknarinnviði* (Vegvísir um rannsóknarinnviði, 2021).

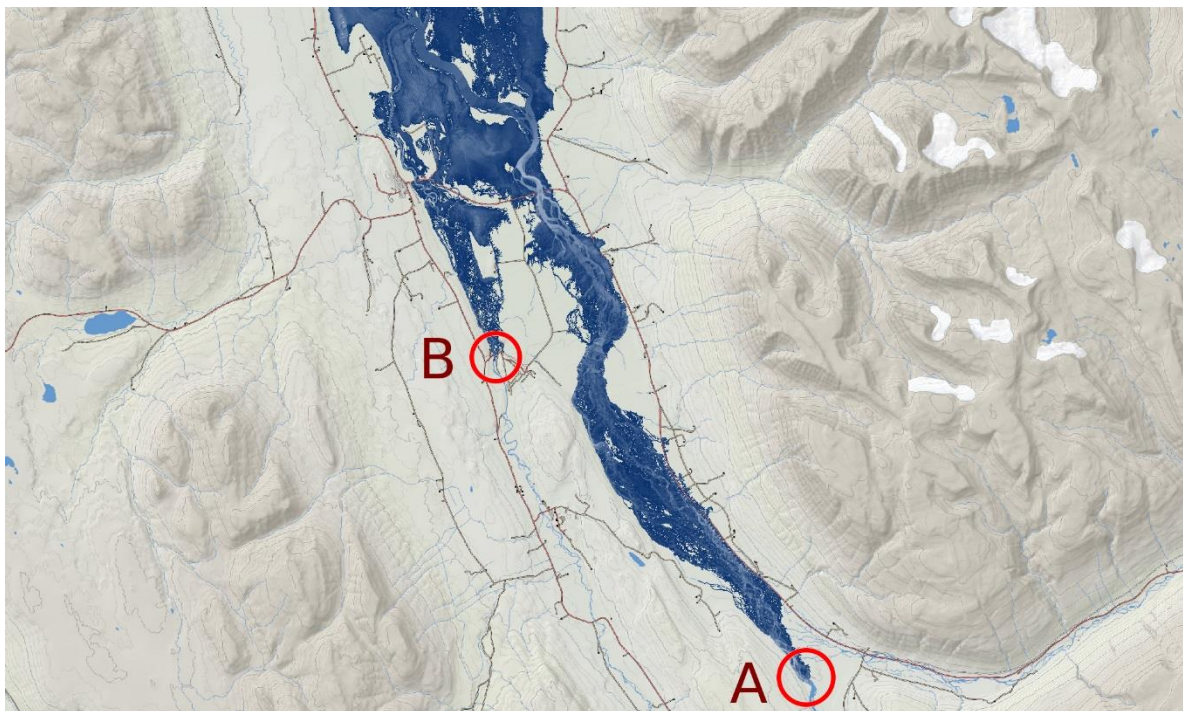
Stærðfræðileg framsetning varðveislu- og samfellujafna í GeoClaw er á fastheldnu formi (e. *conservative form*, sjá LeVeque, 2002; Versteeg og Malalasekera, 2007). Brytjun á þessum tengdu hlutfleiðujöfnum er gerð með aðferð endanlegs rúmmáls (e. *finite volume method* – FVM, sbr. LeVeque, 2002). Aðstreymishluti hreyfijöfnunnar (e. *advection*) er brytjaður með ákveðinni aðferð sem grípur högg í kerfinu og er nákvæm að öðru þrepi (e. *shock-capturing method*; *2nd-order accurate*, sjá Berger og fl., 2011). Tölulegar sveiflur sem almennt eru tengdar öðru þrepi eru takmarkaðar með sk. TVD-aðferð (e. *total variation diminishing*, sjá Versteeg og Malalasekera, 2007). Aðgengilegir TVD-takmarkarar (e. *TVD limiters*) í þessu forriti ganga undir heitunum *Minmod*, *Superbee*, *vanLeer* og *MC* (LeVeque, 2002). Í þessu verkefni er MC-takmarkarinn notaður. Samfellujafnan er einnig með takmarkara (hér einnig MC), brytjuð niður með FVM og er leyst á sama reiknineti og hreyfijafnan (þ.e. í sömu upplausn). Þetta reikninet er kvikt í þeim skilningi að fjöldi reiknisella eykst sjálfkrafa við aukna dreifingu flóðs. Þetta minnkar umfang reikninettsins og eykur þar af leiðandi reiknihraða allverulega. Aðferðin er á ensku nefnd *Arbitrary Mesh Refinement*, AMR (Berger og fl., 2011).

GeoClaw hefur verið notað til að herma eftir fyrirbærum eins og útbreiðslu flóðbylgna (LeVeque, o.fl., 2011), stíflubrota (George, 2010), sjávarflóða (Mandli og Dawson, 2014) og annarra fyrirbæra. Á Íslandi hefur GeoClaw verið m.a. notað við hermun á flóðbylgju sem varð í Öskjuvatni árið 2014 eftir að berghlaup gekk út í vatnið (Sigríður Sif Gylfadóttir o.fl., 2016). Einnig hefur líkanið verið notað við hermun á jökulhlaupum í Jökulsá á Fjöllum (Sigríður Sif Gylfadóttir o.fl., 2017) og Skaftá (Matthías Á. Jónsson o.fl., 2018; Emmanuel Pagneux o.fl., 2018), við hermun vatnaflóða í Ölfusá (Emmanuel Pagneux o.fl., 2019) og verið notað við hættumat fyrir Eyjafjarðará, Hvítá í Borgarfirði, Lagarfljót og Skjálfandafljót (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2021).

3.2 Hermanir

3.2.1 Reikninet og upptakasvæði

Líkanreikningar voru framkvæmdir á 4 x 4 m reiknineti þar sem tímaskrefið var takmarkað við $Co \leq 1$. Útskrift gagna á harða diska var framkvæmd á hverri klukkustund (líkántíma). Upphaflega var aðeins eitt upptakasvæði flóða (e. *source*) staðsett í farvegi Héraðsvatna, merkt með **A** á mynd 9. Síðar var ákveðið að bæta við upptakasvæði í Svartá, merkt með **B** á sömu mynd. Þetta var gert til þess að líkja betur eftir áhrifum flóða þar sem Húseyjarkvíslin mætir Vestari-Héraðsvötnum. Rennslisritin fyrir þessi tvö upptakasvæði, **A** og **B**, má sjá á mynd 8, merkt tilsvareandi með **A** og **B**. Í öllum tilfellum straumfræðilegra líkanreikninga er notast við fast hryfisgildi Mannings $0,03 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1/3}$ sem er sambærilegt við það sem notast var við í hættumati vatnsflóða í Ölfusá (Emmanuel Pagneux o.fl., 2019).



Mynd 9. Upptakasvæði flóða ofarlega í Héraðsvötnum (A) og Húseyjarkvísl/Svartá (B).

3.2.2 Úttaksgögn líkanreikninga

Grunnúttaksgögn hermunar eru hér vatnsdýpi og skriðþungavigur hlaupvatns sem fall af tíma og staðsetningu og er þeim lýst með eftirfarandi stærðum:

$$d = d(x, y, t), \quad (1)$$

$$\mathbf{p} = p_x(x, y, t) \mathbf{i}_x + p_y(x, y, t) \mathbf{i}_y, \quad (2)$$

Stærðirnar x og y eru hnit (eða reiknipunktur) hnitakerfisins (í ISN93/EPG:3057) og t er tími (sbr. *lárétta* ásinn á mynd 8). Stærðirnar p_x og p_y eru tilsvareandi skriðþungi fyrir tvívítt kerfi í x og y -átt og er reiknaður sem $p_x = v_x \cdot d$ og $p_y = v_y \cdot d$, þ.e. sem margfeldi af straumhraða og dýpi (sjá t.d. LeVeque, 2002). Stærðirnar v_x og v_y eru hraðagildi í x og y -átt og $\mathbf{i}_x$ og $\mathbf{i}_y$ eru einingarvigirar hnitakerfisins. Tölugildi skriðþungavigursins er reiknað með jöfnu (3):

$$p(x, y, t) = (p_x^2 + p_y^2)^{1/2} = vd(x, y, t) \quad (3)$$

Eins og er gefið til kynna í jöfnu (3) er stærðin $p(x,y,t)$ einnig rituð sem $vd(x,y,t)$. Hraði (e. *speed*) hlaupvatns er reiknaður með jöfnu (4):

$$v(x,y,t) = p(x,y,t) / d(x,y,t) \quad (4)$$

Reikningarnir skila umfangsmiklum gögnum þar sem ofangreindar niðurstöður eru skrifaðar út fyrir fjölmörg tímaskref. Ekki er auðvelt að setja slík gögn fram á stökum kortum eða í skýrslu. Þess í stað er farið kerfisbundið í gegnum gögnin sem fall af tíma t og hámarksgildi þeirra fundið fyrir hvert hnit x og y . Er útkoman af þessu gefin sem $d_{\max} = d_{\max}(x,y)$, $v_{\max} = v_{\max}(x,y)$ og $vd_{\max} = vd_{\max}(x,y)$. Athuga ber að þessi nýju gildi $d_{\max}$, $v_{\max}$ og $vd_{\max}$ eru ekki sem fall af tíma t heldur aðeins sem fall af hnitum x og y , og því auðvelt að setja fram á kortum. Ákvarða má hámarksútbreiðslu flóða, eða flóðsléttu þeirra eins og er sýnt t.d. á mynd 11, með því að finna alla reiti sem eru með $d_{\max}$ stærra en núll.

3.3 Hættumat/Tjónmætti

Jafnan er gerður greinarmunur á hættu- og áhættumati í umfjöllun um náttúruvá. Hættumat tekur tillit til tjónmættis sem lýsir stærð, afli og krafti náttúruváratburðar og hversu mikil líkindi eru á því að hann eigi sér stað. Hins vegar er áhættumat fall af bæði tjónmætti og tjónnæmi. Hið síðastnefnda segir til um viðkvæmni samfélagsins, innviða og kerfa gagnvart tjóni sem hlýst af náttúruhamförum (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2022).

Við hættumatið er straumfræðilegt líkan notað til að greina flóðadýpt og hraða flóða með ákveðinn endurkomutíma. Meðal niðurstaðna úr hættumati geta verið kort sem sýna mælda útbreiðslu, dýpi og straumhraða þessara tilteknu flóðasviðsmynda. Einnig gefa niðurstöður straumfræðilegra líkanreikninga upplýsingar um fyrrnefnt tjónmætti, en það má kortleggja með því að taka saman upplýsingar um dýpi og straumhraða. Við mat á tjónmætti er í sumum tilfellum einnig tekið tillit til annarra þátta líkt og vatnshita og magn lausagryjts og annars efnis sem getur ferðast með flóði. Tjónmætti er gjarnan notað til að meta hvort straumhraði og vatnsdýpi verði umfram það sem líklegt er að mannvirki þoli eða hvort fólki stafi hættu af flóðum af ákveðinni stærð. Með því að flokka tjónmættisgildi eftir stærð má þannig leggja mat á hættu gagnvart fólki eða húsum og innviðum. Þess ber þó að geta að tjónmætti eitt og sér getur ekki sagt til um áhættu (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2022). Í viðauka II er einnig gefið stutt yfirlit yfir ofangreind hugtök: *hættu*, *tjónmætti*, *tjónnæmi* og *áhættu*.

Sá kvarði tjónmættisgilda sem notaður er innan þessa verkefnis leggur mat á áhrif tjónmættis á byggingar og fólk (Pagneux og Roberts, 2015), sjá töflu 3. Á Íslandi hefur þessi aðferð verið notuð til að greina tjónmætti vatnsflóða í Ölfusá (Emmanuel Pagneux o.fl., 2019), Skaftárhlaupa (Emmanuel Pagneux o.fl., 2018) og jökulhlaupa tengdum eldsumbrotum í Örefajökli og Kötlu (Pagneux og Roberts, 2015). Sjá frekari umfjöllun í kafla 4.1.3.

Annar kvarði tjónmættis byggist á aðferðafræði bresku ríkisstofnunarinnar DEFRA við mat á áhættu fólks vegna vatnsflóða (DEFRA, 2006a,b) en sú aðferðafræði hefur einnig verið prófuð (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2020) og notuð (Bergur Einarsson, o.fl., 2022) hérlandis bæði við mat á tjónmætti sem og við mat á áhættu fólks vegna flóða. Sá kvarði hentar mögulega betur fyrir flóð sem skapa fólki hættu heldur en mannvirkjum og innviðum vegna þess hve hratt sum flóð geta risið, líkt og jökulhlaup og skyndiflóð.

Tafla 3. Kvarði yfir tjónmætti flóða skv. Pagneux og Roberts (2015).

Hætta	Margfeldi dýpis og straumhraða (m^2/s)	Tjón á byggingum	Manntjón
Lítill	$< 0,25$	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	Hætta fyrir börn og eldra fólk, bæði inni í byggingum og utan þeirra
Mikil	$1,3-7$	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. Steinsteipt, járnþent hús skemmast að því marki að þau eru ónýtt á eftir.	Allir sem verða fyrir flóðinu eru í lífshættu, bæði inni í húsum og utandyra

3.4 Hermun með áhrifum sjávarflóða

Eitt af markmiðum verkefnisins er að meta áhrif samfallandi sjávarflóðs í Skagafirði og vatnsflóða í Héraðsvötnum og Húseyjarkvísl/Svartá. Þetta er gert með því að endurtaka hermun með hækkaðri sjávarhæð upp á $h_{s|_{\max}}$ sem táknar efri mörk sjávarhæðar samkvæmt jöfnu (10).

Gildið á $h_{s|_{\max}}$ er fengið úr meistararitgerð Guðrúnar E. Jóhannsdóttir (Guðrún Elín Jóhannsdóttir, 2019) og verður farið stuttlega í fræðin á bak við gildið hér að neðan. Markmið ritgerðar hennar var að meta hugsanleg efri mörk sjávarhæðar alls landsins, en hér er rannsóknin afmörkuð við Skagafjörð. Þessi greining miðar ekki við tiltekinn endurkomutíma og felur í sér gróft mat á því hvernig samspil sjávarfalla og slæms veðurs getur skapað erfiðar og hættulegar aðstæður.

Í ritgerðinni er sjávarhæð gefin með eftirfarandi jöfnu:

$$h_s = h_0 + s + r \quad (5)$$

...þar sem...

- h_s = Sjávarhæð, þ.e. hæð yfir sjávarmáli (e. *sea level*)
- h_0 = Sjávarmál, þ.e. meðalhæð sjávar (e. *mean sea level*)
- s = Sjávarhæð vegna sjávarfalla (e. *tidal elevation*)
- r = Áhlaðandi (e. *residual elevation*)

Áhlaðandi r er breyting á stöðu sjávar vegna veðurs (vindur, loftþrýstingur o.s.frv.) og er ómögulegt að spá nákvæmlega fyrir um til lengri tíma. Hins vegar eru efri mörk r áætluð sem 1,5 m við Ísland:

$$r|_{\max} = 1,5 \text{ m} \quad (6)$$

Þegar stormar valda sjávarflóðum $r|_{\max}$ skiptir miklu hvernig stormflóðið hittir á sjávarföllin s . Hitti það á lágflæði $s|_{\min}$ er ólíklegt að mikið tjón verði, en hitti stormflóðið á háflæði $s|_{\max}$ er möguleiki á töluverðu tjóni.

Samkvæmt Guðrúnu Elínu Jóhannsdóttur (2019), er hámarkið á $h_0 + s$ fyrir Reykjavík áætlað sem 2,44 m við eðlileg veðurskilyrði:

$$(h_0 + s)|_{\max} @ \text{Reykjavík} = 2,44 \text{ m} \quad (7)$$

Til þess að heimfæra ofangreint gildi yfir á Skagafjörð, þarf að notast við ákveðið margföldunarfall (e. *multiplier function*), sjá mynd 7a í heimild (Guðrún Elín Jóhannsdóttir, 2019) sem er jafnt og 0,35 fyrir Skagafjörð:

$$(h_0 + s)|_{\max} @ \text{Skagafjörður} = [(h_0 + s)|_{\max} @ \text{Reykjavík}] \cdot 0,35 = 0,854 \text{ m} \quad (8)$$

Með jöfnu (6) og (8) fást þá efri mörk á sjávarhæð fyrir Skagafjörð:

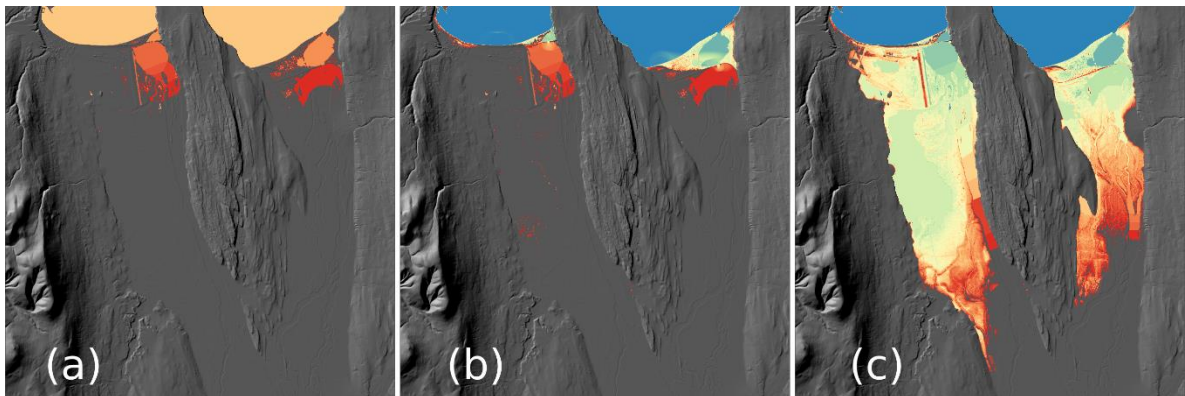
$$h_s|_{\max} = (h_0 + s + r)|_{\max} @ \text{Skagafjörður} = 0,85 \text{ m} + 1,5 \text{ m} = 2,35 \text{ m} \quad (9)$$

Með öðrum orðum, hámarkssjávarhæð í Skagafirði er á milli 2 og 2,5 m yfir sjávarmáli. Þetta bil má sjá á mynd 8a í tilvitnun (Guðrún Elín Jóhannsdóttir, 2019).

Í núverandi reikniverkefni er næsta heila tala valin frá jöfnu (9). Heil tala er notuð hér til að ítreka þá óvissu sem er til staðar í öllum forsendum reikninganna. Efri mörk sjávarhæðar eru því sett fram sem:

$$h_s|_{\max} = 2 \text{ m} \quad (10)$$

Mynd 10 sýnir útbreiðslu sjávarflóða á landi við mismunandi stöðu sjávar. Hvert ástand, það er (a), (b) eða (c), helst óbreytt þar til að vatnsflóð Héraðsvatna leggst til viðbótar við þetta vatn. Þannig eru sjávarfallasveiflur milli flóðs og fjöru ekki keyrðar hér, nokkuð sem tryggir að hámarks vatnsflóð Héraðsvatna falla ávallt saman við hámarksáhrif sjávarflóðs. Líkanreikningarnir ráða hæð sjávarborðs því sjávarflóð eru aðeins sett sem upphafsskilyrði og miðað er við hallalaust vatnsyfirborð við jaðar (e. zero gradient boundary condition). Árflóð Héraðsvatna hafa því áhrif á sjávarborð í líkanreikningunum.



Mynd 10. Útbreiðsla sjávarflóða upp á land við meðalhæð sjávar annars vegar (a) og hins vegar með áhrifum hárrar sjávarstöðu (b) og (c). Fyrir mynd (b) standast varnarvirki álag sjávarflóðs en fyrir (c) gera þau það í minna mæli.

Mynd 10a sýnir uppsetningu hermunar við meðalhæð sjávar h_0 (þ.e. við sjávarmál). Þessi uppsetning er notuð í flestum tilfellum í þessari skýrslu. Myndir 10b og c sýna tvær mismunandi

uppsetningar þar sem sjávarflóð $h_s|_{\max}$ er til staðar, báðar skv. jöfnu (10). Á mynd 10b eru mannvirkin við sjávarströnd látin meira eða minna standast álag sjávarflóðs og áhrif þess lengra inn í land verða þar af leiðandi minni en ella. Hins vegar er mynd 10c ígildi þess að strandarmannvirki standist minna álag og sjávarflóði sé leyft að flæða auðveldar inn í land (upp að 2 m hæð landlíkans).

Þar sem ástandið á mynd 10c passar betur við niðurstöðu Halldórs Björnssonar o.fl. (2022a) er það notað í þessu verkefni. Ítarleg niðurstaða fyrir Skagafjörð er á mynd 67, bls. 55, í fylgiskjali Halldórs Björnssonar o.fl. (2022b) og miðar greiningin þar við 100 ára endurkomutíma. Athuga ber að notkun lengri endurkomutíma, t.d. 200 eða 1000 ára, myndi leiða til meiri dýptar og dreifingar sjávarflóðs inn á land, en sýnt er á fyrrgreindri mynd 67.

4 Niðurstöður

4.1 Útbreiðsla flóðasviðsmynda og hættumat

4.1.1 Yfirlitskort við meðalhæð sjávar

Sjá má yfirlitskort af líkanreiknaðri flóðsléttu og staðsetningu upptaka á mynd 11. Myndin gildir fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma án bakvatnsáhrifa sjávarflóðs (mynd 10a). Sjá kafla 2.4.1 um skilgreiningu á hugtakinu „endurkomutími“. Ítarlegri yfirlitskort í nákvæmari kvarða eru einnig aðgengileg í viðauka III. Niðurstöður gefa til kynna umtalsvert flóðvatn innan bæjarmarka Sauðárkróks en þess ber að geta að ekki er tekið tillit til ræsa eða annarra mannvirkja sem kunna að hafa áhrif á útbreiðslu flóða og ber því að taka niðurstöðum þar með fyrirvara. Með tilliti til Vestari-Héraðsvatna fer allt undirlendið frá Geldingaholti (sjálft Geldingaholt sleppur) og að Sauðárkróki undir vatn. Þetta gildir fyrir öll tilfelli 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma. Þessar niðurstöður gilda líka við hækkaða sjávarhæð, eins og verður rætt í kafla 4.1.2 hér að neðan. Með tilliti til Austari-Héraðsvatna fer allt undirlendið frá Syðri-Brekkum og að Garðssandi undir vatn. Þó er einhver mismunur m.t.t. útbreiðslu flóða fyrir Garðssand, með og án áhrifa sjávarflóðs.

4.1.2 Áhrif sjávarflóðs

Aðeins í þessum og næsta kafla, þ.e. köflum 4.1.2 og 4.1.3 (ásamt viðauka IV) eru áhrif sjávarflóðs einnig athuguð (mynd 10c). Annars staðar í þessari skýrslu er einungis unnið út frá sjávarmáli h_0 (mynd 10a). Mynd 12 sýnir yfirlitskort af líkanreiknaðri útbreiðslu flóða þar sem sjávarflóð vegna hástreymis og mikils hvassviðris leggjast á eitt að skapa aðstæður sem magna áhrif flóða í ánni (sjá kafla 3.4). Útbreiðsla flóða með 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma er sýnd á myndinni. Yfirlitskort í nákvæmari upplausn eru einnig aðgengileg í viðauka IV.

Eins og áður er ekki tekið tillit til ræsa eða annarra mannvirkja sem kunna að hafa áhrif á útbreiðslu flóða innan bæjarmarka Sauðárkróks og því ber að taka niðurstöðum þar með fyrirvara. Það sama gildir um flugvöllinn austan við Sauðárkrók, en þar flæðir yfir flugbrautina í sumum reikningum.

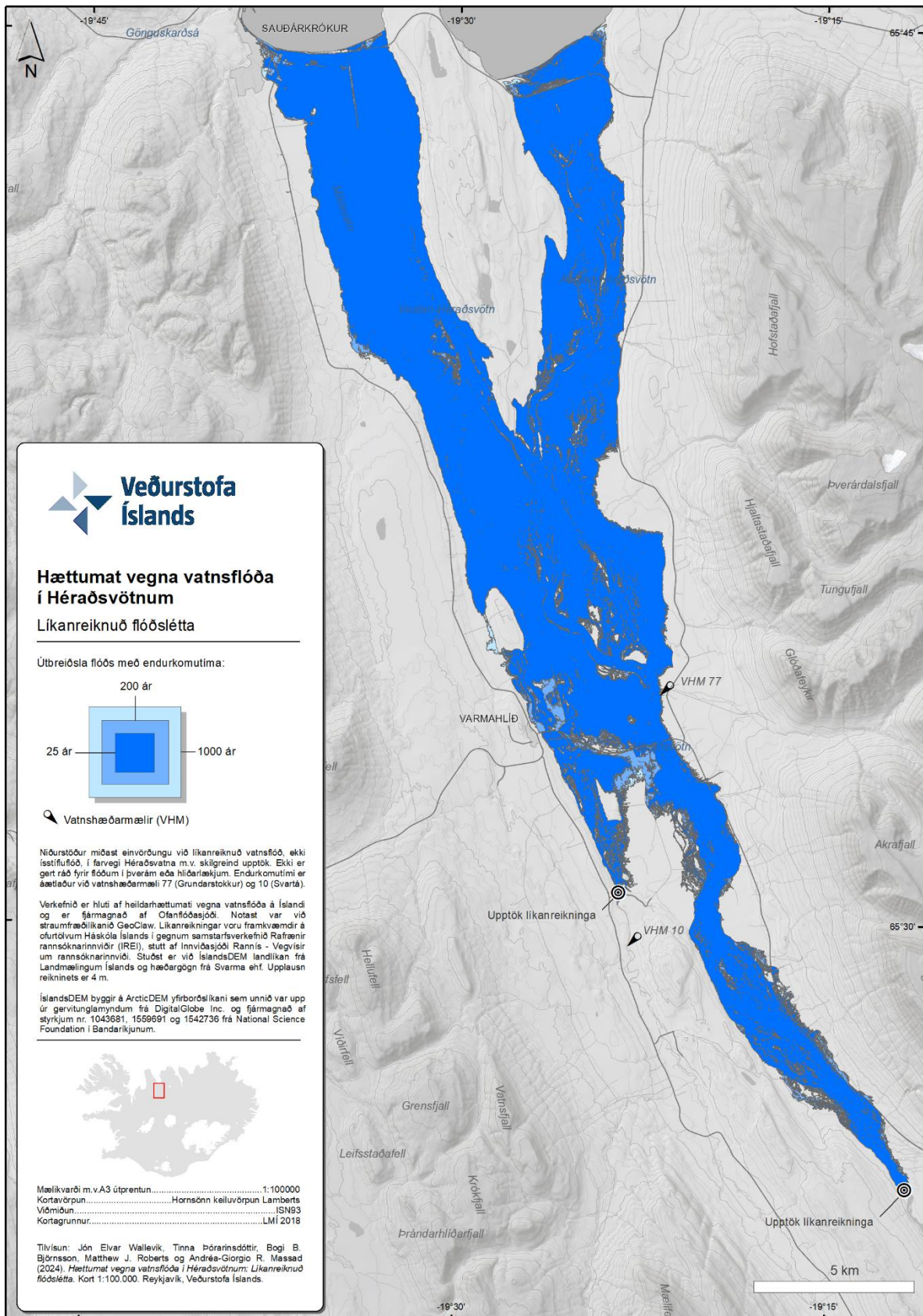
Með samanburði á myndum 11 og 12 sést að lítill munur er á útbreiðslu flóða, með og án áhrifa sjávarflóðs. Þó er greinilegur mismunur í útbreiðslu flóða á Garðssandi, þ.e. við ströndina við Austari-Héraðsvötn. Að öðru leyti er mismunurinn fyrst og fremst í hámarksdýpi vatns $d_{\max}$.

Jafna (11) lýsir aukningu í hámarksvatnsdýpi $d_{\max}$ vegna sjávarflóðs.

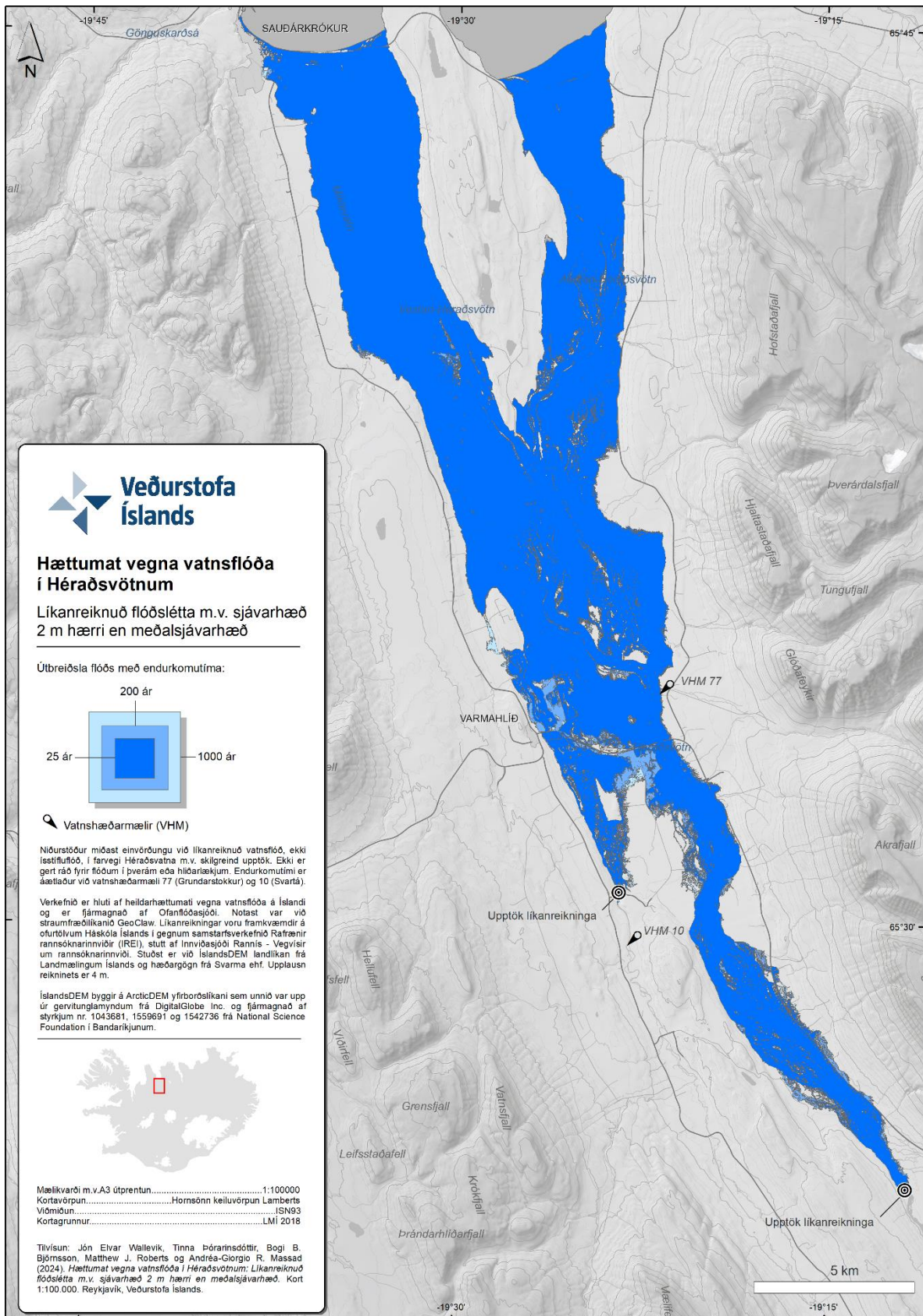
$$\Delta d = d_{\max|2m} - d_{\max|0m} \quad (11)$$

Þ.e. stærðin $d_{\max|0m}$ er hámarksdýpi við meðalhæð sjávar h_0 í Skagafirði (þ.e. við sjávarmál) skv. mynd 10a, á meðan stærðin $d_{\max|2m}$ er hámarksdýpi flóðs þar sem hækkuð sjávarhæð er til staðar, $h_{s|max}$, eins og er lýst með jöfnu (10) og mynd 10c.

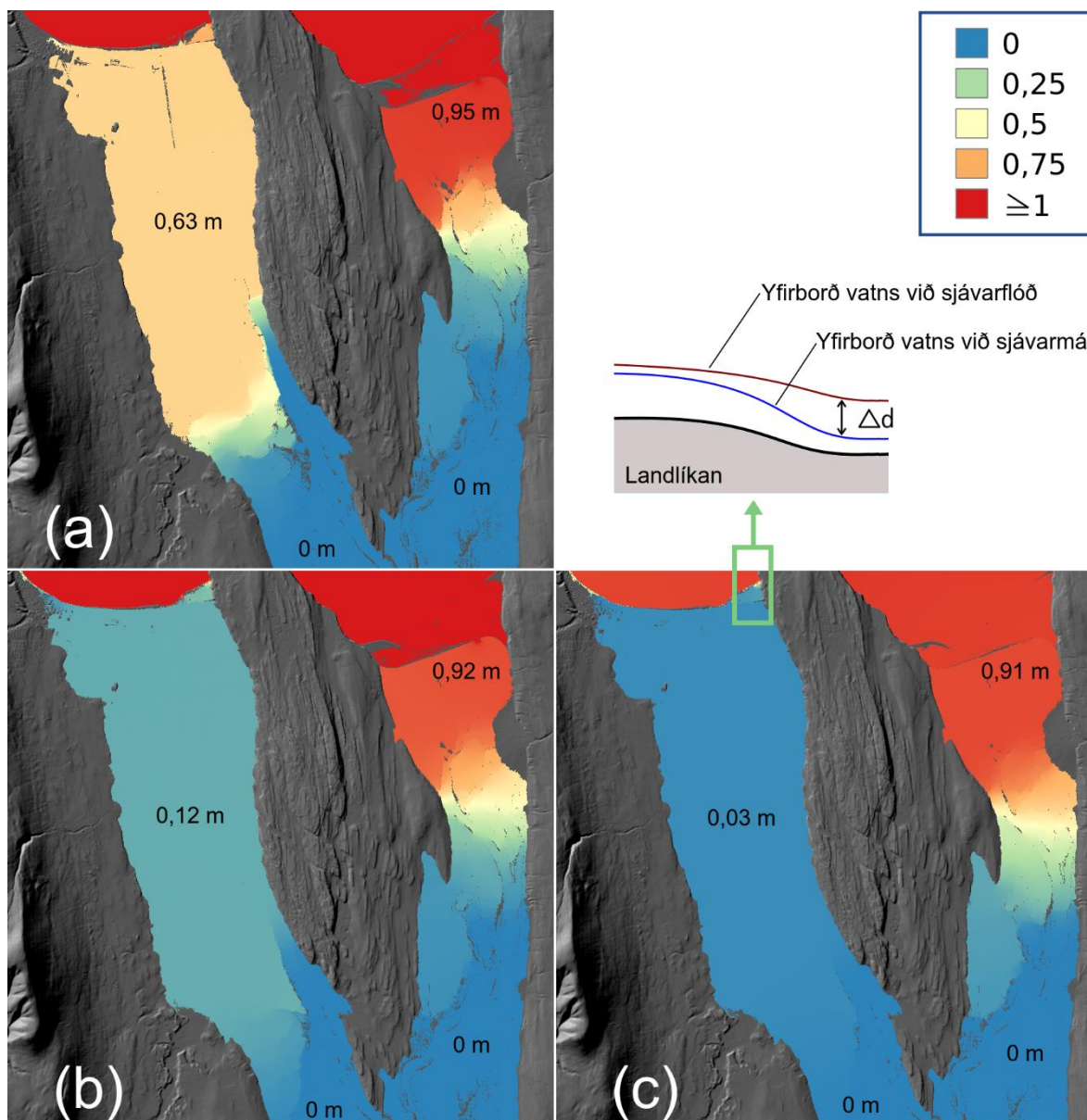
Mynd 13 sýnir niðurstöðu jöfnu (11) fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma. Þar sem svo til engin aukning Δd er til staðar fyrir suðurhluta Héraðsvatna er myndin aðeins af norðurhluta þeirra, u.þ.b. frá Kjartansstöðum og að sjávarströnd Skagafjarðar.



Mynd 11. Líkanreiknuð útbreiðsla flóða og staðsetning upptaka líkanreikninga innan vatnasviðs Héraðsvatna, við meðalhæð sjávar/sjávarmál. Sjá einnig viðauka III. Athuga ber að innan bæjarmarka Sauðárkróks er ekki tekið tillit til ræsa eða annarra mannvirkja og ber því að taka niðurstöðum þar með fyrirvara.



Mynd 12. Líkanreiknuð útbreiðsla flóða og staðsetning upptaka líkanreikninga innan vatnasviðs Héraðsvatna með hækkaða sjávarhæð skv. jöfnu (10). Sjá einnig viðauka IV. Athuga ber að innan bæjarmarka Saudárkróks er ekki tekið tillit til ræsa eða annarra mannvirkja og ber því að taka niðurstöðum þar með fyrirvara.



Mynd 13. Aukning hámarksdýpis Δd , skv. jöfnu (11), vegna áhrifa hárrar sjávarhæðar á flóð í Héraðsvötnum (kaflí 3.4). Mynd (a) gildir fyrir flóð með 25 ára endurkomutíma, (b) fyrir 200 ára og (c) fyrir 1000 ára endurkomutíma. Dökkblár litur er $\Delta d = 0$ m (þ.e. engin aukning hámarksdýpis), gulur er u.þ.b. 0,5 m aukning á meðan rauður litur sýnir svæði þar sem aukningin í hámarksdýpi er um 1m eða meira. Sjá einnig táknlykil efst til hægri.

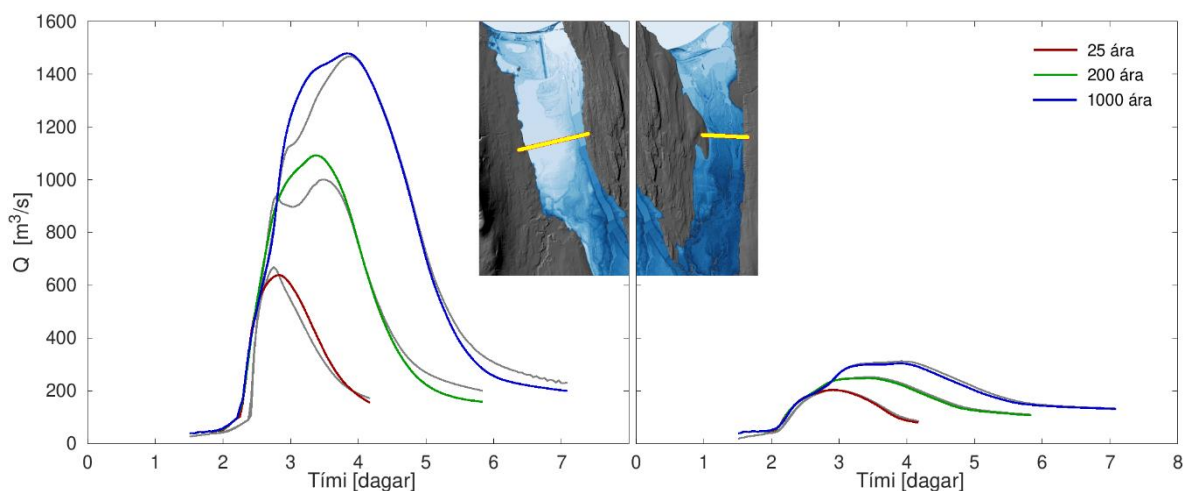
Fyrir Austari-Héraðsvötn er aukning í hámarksdýpi, Δd , svipuð fyrir flóð með 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma (sjá myndir 13a til 13c). Fyrir öll tilfelli er mismunur fyrst u.þ.b. við Ytri-Brekkur og eykst svo norður í átt að sjónum, upp í um einn metra sunnan við Sauðárkróksbraut (þ.e. hámarksdýpisaukningin vegna sjávarflóðs er um einn metri eða minna innan Sauðárkróksbrautar). Á Garðssandi er hins vegar mismunurinn almennt meiri og háður endurkomutíma. Dýpisaukningin, Δd , er u.þ.b. 1,5, 1,3 og 1 meter fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma.

Fyrir Vestari-Héraðsvötn er aukningin í hámarksdýpi, Δd , mun meira háð endurkomutíma og er eftirfarandi:

- Fyrir 25 ára endurkomutíma (mynd 13a) byrjar aukningin í vatnsdýpi, Δd , við Stóru-Gröf syðri og eykst norður að Ögmundarstöðum en breytist lítið eftir það. Áin er þá í rúmlega 0,6 metrum alla leið að Borgarsandi.
- Fyrir 200 ára endurkomutíma (mynd 13b) byrjar aukningin í vatnsdýpi, Δd , við Páfastaði og eykst norður að Ögmundarstöðum en breytist lítið eftir það. Er þá rúmlega 0,1 meter alla leið að Borgarsandi.
- Fyrir 1000 ára endurkomutíma (mynd 13c) er svo til enginn mismunur í vatnsdýpi, Δd , fyrir öll Vestari-Héraðsvötn.

Hugsanleg útskýring á mynd 13 er að eftir því sem vatnsflóð í Héraðsvötnum er stærra og öflugra, þeim mun auðveldara á það vatnskerfi með að yfirkeyra áhrif sjávarflóðs (mynd 10c). Þetta leiðir til þess að aukningin í dýpi, Δd , (og áhrif sjávarflóðs á hámarksdýpi $d_{\max}$) verður minni eftir því sem flóðið í ánni er stærra. En aðrir þættir gætu mögulega einnig spilað inn í þetta ferli.

Mynd 14 sýnir rennsli sem fall af tíma, fyrir Vestari- og Austari-Héraðsvötn, fyrir flóð með 25 (rautt), 200 (grænt) og 1000 (blátt) ára endurkomutíma að teknu tilliti til áhrifa hárrar sjávarstöðu, sbr. mynd 10c. Gráu bakgrunnslínum sýna sömu niðurstöður við sjávarmál, sbr. mynd 10a. Þversniðin sem eru notuð til þess að reikna rennsli eru sýnd á innfelldum myndum. Mynd 14 sýnir greinilega mun meiri straumpunga í Vestari-Héraðsvötnum miðað við þau austari. Þessi mismunur gæti hugsanlega útskýrt mismuninn í dýptaraukningu Δd á mynd 13, sbr. ofangreinda málsgrein.



Mynd 14. Rennsli sem fall af tíma fyrir Vestari-Héraðsvötn (vinstri) og Austari-Héraðsvötn (hægri) að teknu tilliti til áhrifa hárrar sjávarstöðu (mynd 10c). Gráu bakgrunnslínum sýna sömu niðurstöður við sjávarmál (mynd 10a). Tíminn núll hér er sá sami og núll á mynd 8 (þ.e. sami ás).

Samantekt úr köflum 4.1.1 og 4.1.2:

1. Fyrir öll tilfelli 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma, fer allt undirlendið frá Geldingaholti (sjálft Geldingaholt sleppur) og að Sauðárkróki undir vatn. Gilda þessar niðurstöður með (mynd 12) og án (mynd 11) áhrifa hárrar sjávarstöðu. Vatn nær einnig norður fyrir flugvöllinn og umlykur hann, fyrir öll tilfelli.
2. Áhrif hárrar sjávarstöðu á útbreiðslu flóða kemur aðallega fram í neðri hluta Héraðsvatna, u.þ.b. frá Kjartansstöðum og að ósum.
3. Áhrif hárrar sjávarstöðu eru lítil m.t.t. útbreiðslu flóða en valda auknu hámarksdýpi $d_{\max}$:
 - Fyrir Austari-Héraðsvötn er aukningin, Δd , í hámarksdýpi (sjá jöfnu (11)), svipuð fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma. Fyrir öll tilfelli byrjar þessi

dýptaraukning að koma fram við Ytri-Brekkur og eykst að ósum. Þessi dýptaraukning er u.þ.b. einn metri og minna ofan Sauðárkróksbrautar en er yfirleitt meiri þegar komið er yfir á Garðssand.

- Fyrir Vestari-Héraðsvötn er aukningin, Δd , til staðar fyrst og fremst fyrir flóð með 25 ára endurkomutíma og er þá um 0,6 metrar. Hins vegar, fyrir 200 og 1000 ára endurkomutíma er svo til engin aukning í hámarksdýpi.

4.1.3 Tjónmætti með og án áhrifa sjávarflóða

Eins og áður hefur verið nefnt er það aðeins í þessum og í fyrri kafla (ásamt viðauka IV) þar sem áhrif af hækkaðri sjávarhæð $h_{s|max}$ eru einnig skoðuð (mynd 10c). Annars staðar í þessari skýrslu er einungis unnið út frá sjávarhæð sem sjávarmál h_0 (þ.e. einungis út frá mynd 10a).

Eins og nefnt var í kafla 3.2.2, skila reikningarnir gríðarmiklum gögnum því niðurstaða eins og skriðþungi $vd(x,y,t)$, jafna (3), er skrifuð út fyrir fjölmörg tímaskref. Ekki er auðvelt að setja slík gögn fram á stökum kortum eða í skýrslu. Í staðinn er farið kerfisbundið í gegnum gögnin sem fall af tíma t og hámarksgildi þeirra fundið fyrir hvert hnit x og y . Þannig eru gögnin t.d. fyrir skriðþunga $vd(x,y,t)$, þ.e. margfeldi af straumhraða og dýpi og er útkoman af þessu gefin sem $vd_{max} = vd_{max}(x,y)$.

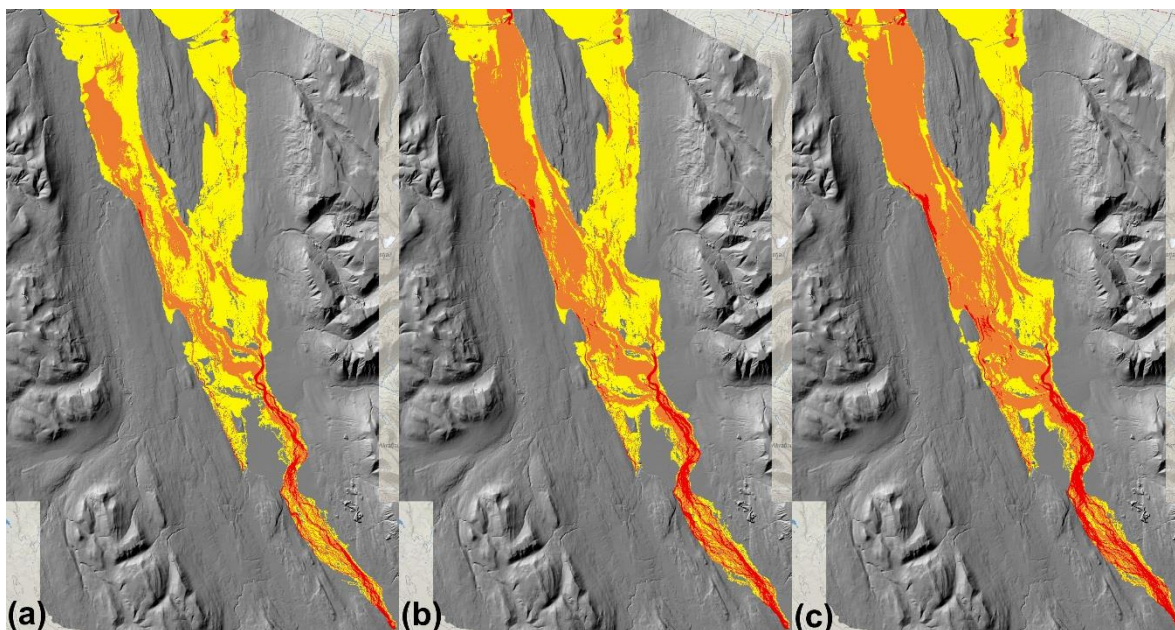
Hættumatsgreiningin, það er tjónmætti er reiknað sem margfeldi af straumhraða og dýpi og er í þessu riti gefið sem vd_{max} (sbr. kafla 3.3). Ýtarleg kort af tjónmætti vd_{max} fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma eru í viðaukum III og IV. Í viðauka III gilda niðurstöðurnar fyrir sjávarhæð við sjávarmál (sbr. kafla 4.1.1 og mynd 11), en í viðauka IV gilda niðurstöðurnar við sjávarhæð sem samsvarar sjávarflóði (sbr. kafla 4.1.2 og mynd 12). Tafla 4 sýnir táknykil fyrir tjónmætti vd_{max} , skv. töflu 3, en þar er annars vegar kvarði fyrir tjón á byggingum og hins vegar fyrir tjón gagnvart fólki. Þessi tafla er notuð í viðaukum III og IV og svo einnig á mynd 15.

Tafla 4. Táknykill af tjónmætti vd_{max} fyrir mynd 15 (sjá töflu 3).

Lítið	< 0,25
Hóflegt	0,25 - 1,3
Mikið	1,3 - 7
Geysimikið	> 7
Meginfarvegir/stöðuvötn	Ekki metið

Mynd 15 sýnir yfirlitskort af tjónmætti vd_{max} fyrir allt hættumatssvæðið með sjávarhæð við sjávarmál h_0 (sjá einnig viðauka III). Við Austari-Héraðsvötn er tjónmættið yfirleitt lítið (gult), fyrir utan smáreiti með hóflegu tjónmætti (appelsínugult). Hins vegar er hóflegt tjónmætti meira áberandi við Vestari-Héraðsvötn og Miklavatn. Þar er einnig meiri aukning áberandi eftir því sem endurkomutími lengist frá 25 árum til 1000. Austan við bæina Páfastaði og allt norður að Reynisstað er svæði með miklu tjónmætti (rautt). Einnig eru svæði með miklu tjónmætti austur af Geldingaholti. Umfang þessara rauðu svæða eykst með endurkomutíma. Tjónmætti er líka mikið meðfram aðalfarvegi Héraðsvatna frá Grundarstokk að upptökum líkanreikninganna við ármót Héraðsvatna og Norðurár. Lítið er af svæðum með geysimikla hættu (eldrautt) á hættumatssvæðinu. Er þetta ástand helst nálægt upptökum reiknings og á smáu svæði nálægt Reykjatungu.

Athuga ber að á mynd 15 er tjónmættið ekki marktækt út á hafi, í Miklavatni eða í farvegi, þar sem landlíkön taka ekki tillit til dýpis vatna og farvega heldur eru sett í fasta vatnshæð (sjá kafla 4.4.2). Tjónmættið getur því verið meira á þeim stöðum. Í viðaukum III og IV eru þessi svæði lituð með gráu.



Mynd 15. Tjónmætti $vd_{\max}$ fyrir 25 (a), 200 (b) og 1000 (c) ára endurkomutíma. Sjávarhæð er sett sem sjávarmál (tafla 4 sýnir táknlykil). Sjá einnig viðauka III.

Kortin í viðaukum III og IV sýna mjög svipað tjónmætti $vd_{\max}$ hvort sem sjávarhæð er við sjávarmál eða sambærileg sjávarflóði. Áhrif af samfallandi sjávarflóði eru hverfandi á suðurhluta hættumatssvæðisins (u.þ.b. frá Kjartansstöðum og sunnar) því þar erum við komin svo langt inn í land að bakvatnsáhrif af hárri sjávarstöðu við ósa eru orðin hverfandi. Ekki verður mikil aukning á tjónmættinu á norðurhluta hættumatssvæðisins þó að það liggi nær sjávar vegna þess að straumhraði minnkar í pari við hækkaða vatnsdýpt.

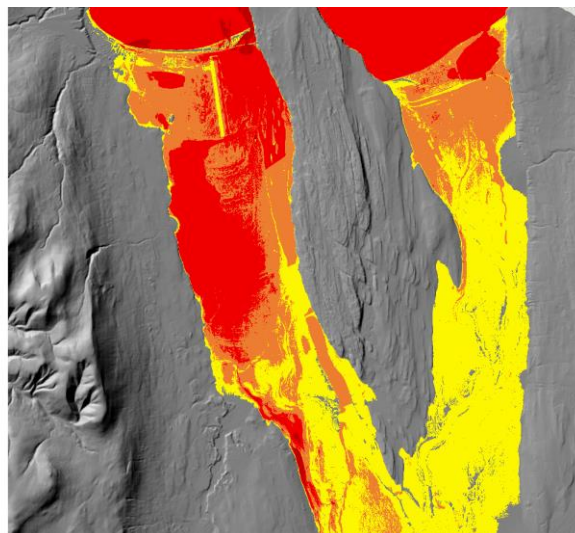
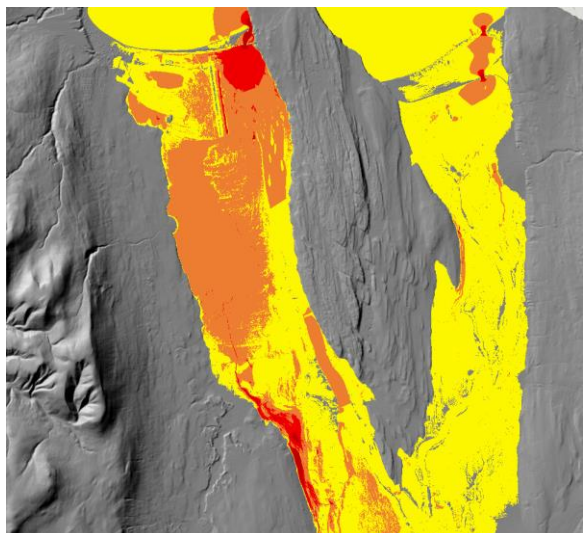
Þó svo að $vd_{\max}$ geti lýst hættu gagnvart fólki (sbr. töflu 3), þá hentar það oft ekki sem slíkt. Til að mynda getur stór, nýmyndaður og kyrr pollur, yfir tvo metra á dýpt, verið augljóslega hættulegur fólki en myndi ekki vera skráður sem slíkur, þar sem hraðinn v er hverfandi. Hins vegar, t.d. gagnvart steinsteyptri byggingu, myndi slíkt tímabundið hækkað vatnsborð valda hlutfallslega litlu tjóni og þar af leiðandi myndi stærðin $vd_{\max}$ henta ágætlega fyrir mannvirki af slíkri tegund. Þar að auki er þessi stærð jafngildi skriðþunga (fyrir tvívíð kerfi, sbr. kafla 3.2), sem er í sjálfu sér góður kvarði á mögulegu eignartjóni vegna náinna tengsla við ástreymisþrýsting.

Ef sérstaklega á að athuga tjónmætti á fólki er til annar kvarði sem hentar betur og er reiknaður sem $HR = (v + 0,5) \times D + DF$, sjá jöfnu (1) í heimild (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2022). Gildið DF lýsir magni lausagryjots, ísjaka, braks og annars efnis í flóðum. Fyrir veðurorsökuð flóð sem ekki bera með sér mikið brak má alveg setja þetta gildi sem núll, hins vegar fyrir jökulhlaup með jakahrönnum og miklum framburði er gjarnan notað $DF = 0,5$ eða stærra.

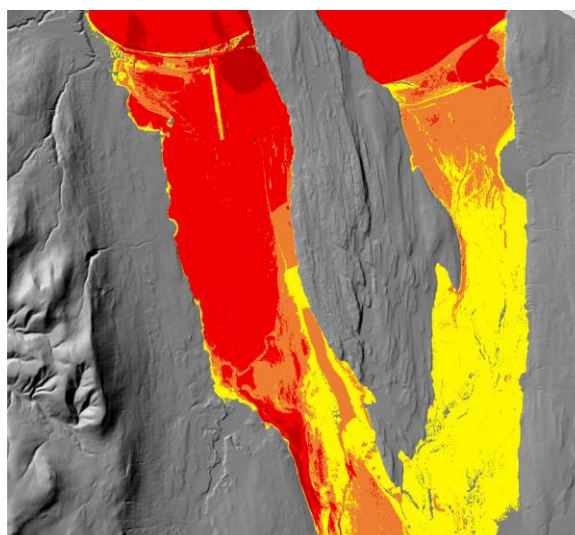
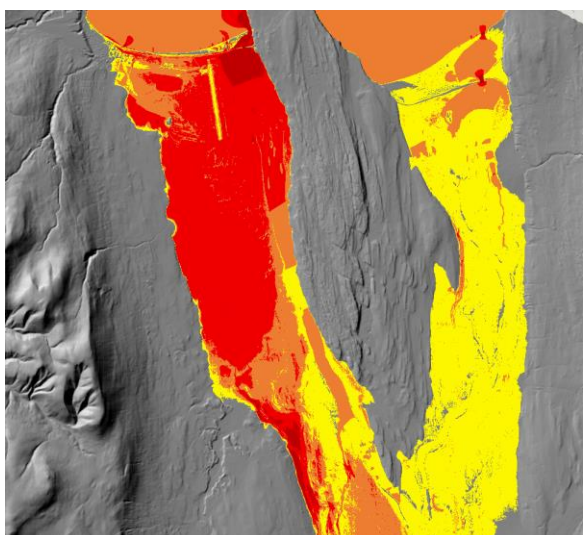
Fyrir hvert tímaskref er ofangreint gildi reiknað sem $hr(x,y,t) = (v(x,y,t) + 0,5) \cdot d(x,y,t) + DF$ (sjá breytistærðir í kafla 3.2.2). Þar á eftir er farið í gegnum útkomuna $hr(x,y,t)$ sem fall af tíma t og hámarksgildið fundið fyrir hvert hnit x og y . Lokaniðurstaðan af þessu er gefin sem $hr_{\max} = hr_{\max}(x,y)$ og er hér túlkað sem eiginlegt HR gildi. Tafla 5 sýnir flokkun á $HR = hr_{\max}(x,y)$ og er notað á myndum 16 til 18, sem sýnir þá hættu sem fólki stafar af. DF -gildið er hér núll.

Tafla 5. Hætta sem fólki stafar af flóði, sjá heimild (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2022).

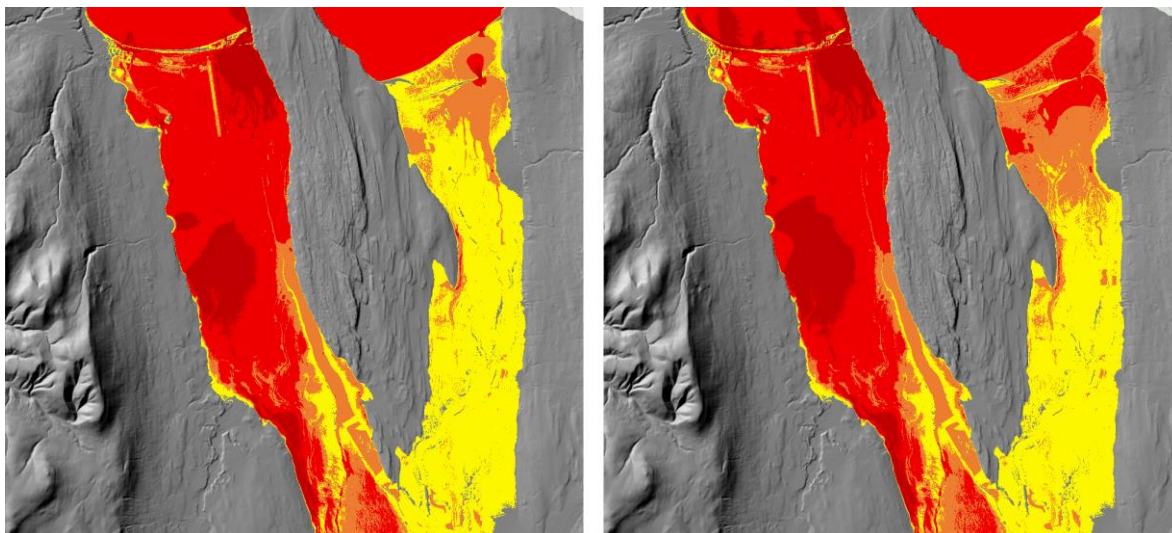
Tjónmættisgildi (HR)	Litaflokkun	Hætta gagnvart fólki
< 0,75		Mjög lítil hætta
0,75–1,25		Hætta fyrir börn, eldra fólk og þá sem fara hægt yfir
1,25–2,0		Hætta fyrir flesta
> 2,0		Hætta fyrir alla, þ.m.t. fyrir björgunaraðila



Mynd 16. Tjónmætti gagnvart fólki (HR) fyrir 25 ára endurkomutíma, fyrir sjávarhæð við sjávarmál (vinstri) og með hækkaða sjávarhæð skv. jöfnu (10) (hægri). Tafla 5 sýnir táknlykil.



Mynd 17. Tjónmætti gagnvart fólki (HR) fyrir 200 ára endurkomutíma, fyrir sjávarhæð við sjávarmál (vinstri) og með hækkaða sjávarhæð skv. jöfnu (10) (hægri). Tafla 5 sýnir táknlykil.



Mynd 18. Tjónmætti gagnvart fólki (HR) fyrir 1000 ára endurkomutíma, fyrir sjávarhæð við sjávarmál (vinstri) og með hækkaða sjávarhæð skv. jöfnu (10) (hægri). Tafla 5 sýnir táknykil.

Myndir 16 til 18 sýna samanburð á hættu sem fólki stafar af árflóði samfallandi við sjávarhæð við sjávarmál (vinstri) og við sjávarhæð samsvarandi sjávarflóði (hægri). Enginn mismunur er á milli þessara tveggja tilfella fyrir suðurhluta hættumatssvæðisins (u.þ.b. frá Kjartansstöðum og sunnar). Þar erum við komin svo langt inn í land að bakvatnsáhrif af hárri sjávarstöðu við ósa eru orðin hverfandi, líkt og lýst er að ofan. (Á þessum myndum er tjónmættið ekki marktækt út á hafi, í Miklavatni eða í farvegi, þar sem landlíkón taka ekki tillit til dýpis vatna og farvega heldur eru þau sett í fasta vatnshæð; sjá umræðu í kafla 4.4.2).

Þó svo að greinileg hættu sé til staðar fyrir fólk (rautt) í svo til öllum Vestari-Héraðsvötnum, þá verður að hafa í huga að ólíkt því sem gildir t.d. fyrir jökulhlaup eru veðurorsökuð flóð yfirleitt „hægt rísandi“ (í kafla 4.2 er rishraðinn um hálfur sólahringur eða meiri). Því er oftast nægur tími til staðar ef rýma þarf tiltekið svæði. Í verkefni sem þessu er fyrst og fremst horft til tjóns á eignum og öðrum mannvirkjum með vd_{max} . Því eru ekki gefin út nein *hr*-kort í viðauka. Myndir 16 til 18 eru til að undirstrika aukna hættu sem fólki stafar við norðurhluta Héraðsvatna við samfallandi sjávarflóð og árflóð, nokkuð sem sést ekki hér með kortum af vd_{max} í viðaukum III og IV.

Tjónmætti sem flokkast frá litlu (**gulu**) til geysimiklu (**eldrautt**, sbr. töflu 4) segir ekkert til um afleiðingar eða skemmdir sem verða á eignum þar sem slíkt fer eftir tegund og hönnun á viðkomandi mannvirki, þ.e. tjónnæmni eignar. Til dæmis má búast við mjög litlu tjóni á stórri stíflu, jafnvel þótt hún sé staðsett á svæði með geysimiklu tjónmætti. Á hinn bóginn gæti hundakofi orðið fyrir verulegum skemmdum á svæði með litlu tjónmætti (þ.e. á gulu svæði). Því er það á ábyrgð eigenda og/eða viðeigandi aðila (t.d. sveitafélags, verktaða, verkfræðistofu, o.s.frv.) að nýta upplýsingarnar um tjónmætti við gerð viðbragðsáætlana, lagfæringa o.fl. fyrir tiltekin mannvirki.

Samantekt:

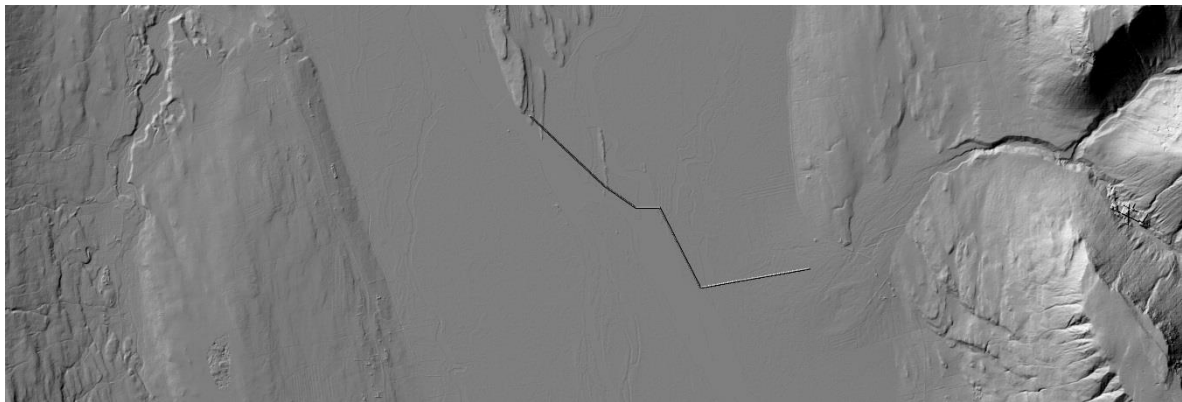
1. Þar sem veðurorsökuð flóð eru yfirleitt „hægt rísandi“ og oftast er nægur tími til rýmingar á fólki er tjónmættið/hættumatsgildið vd_{max} skv. töflu 3 aðallega sett fram til athugunar á mögulegu eignartjóni. Ítarleg kort af tjónmætti eru í viðaukum III og IV.
2. Afleiðing af ákveðnu tjónmætti er háð tegund og útfærslu á tilteknu mannvirki og er það í verkahring eigenda og/eða tilsvarende ábyrgðaraðila að nýta þessar upplýsingar til að vinna viðbragðsáætlanir, lagfæringar o.s.frv.

3. Dæmi um niðurstöður á hættu/tjónmætti $vd_{\max}$ eru:
 - Við Austari-Héraðsvötn er tjónmættið yfirleitt lítið (gult), fyrir utan smáreiti með hóflegu tjónmætti (appelsínugult).
 - Hins vegar er hóflegt tjónmætti meira áberandi við Vestari-Héraðsvötn og Miklavatn. Þar er einnig meiri aukning áberandi eftir því sem endurkomutími lengist frá 25 til 1000 ár.
 - Austan við bæina Páfastaði og allt norður að Reynisstað eru svæði með miklu tjónmætti (rautt). Svæðin stækka með auknum endurkomutíma.
 - Tjónmætti er líka mikið meðfram aðalfarvegi Héraðsvatna frá Grundarstokk að upptökum líkanreikninganna við ármót Héraðsvatna og Norðurár.
 - Lítið er af svæðum með geysimikla hættu (eldrautt) á hætumatssvæðinu. Er þetta ástand helst nálægt upptökum reikninga og á smáu svæði nálægt Reykjatungu.
4. Mjög svipað tjónmætti $vd_{\max}$ er til staðar hvort sem sjávarhæð er við sjávarmál eða samsvarar sjávarflóði samfallandi við árflóðið.
 - Hins vegar eykst hættan sem fólki stafar ($HR = hr_{\max}$) við samfallandi sjávarflóð og árflóð (myndir 16 til 18).

4.1.4 Tilraun með lokun á rennsli til Austari-Héraðsvatna

Hér eftir er ekki fjallað um áhrif sjávarflóða, þ.e. unnið er út frá sjávarhæð við sjávarmál, sjá mynd 10a.

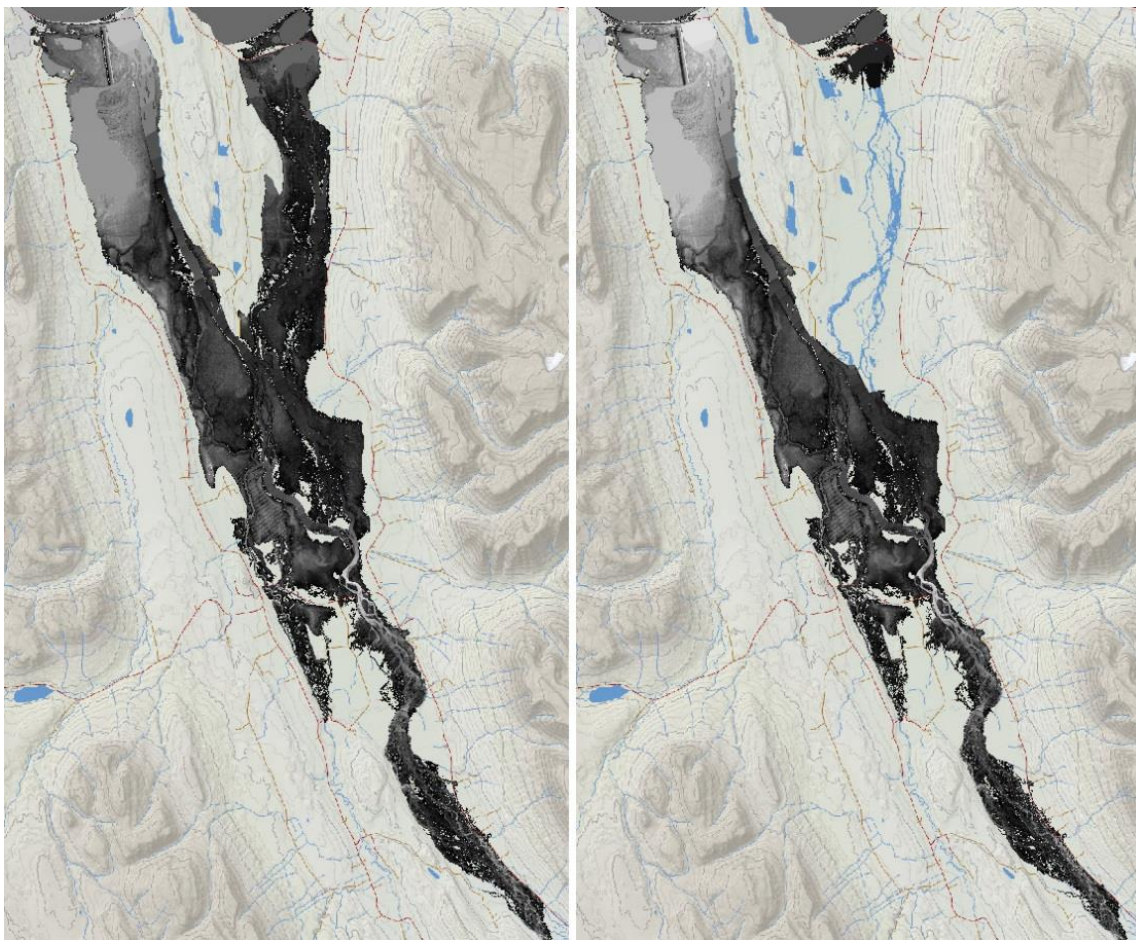
Með það markmið að kanna áhrif aukins rennslis úr Héraðsvötnum til vesturs (um svokallað Affall) og inn í Húseyjarkvísl var prófað að loka alfarið fyrir rennsli til Austari-Héraðsvatna og færa allt rennsli yfir til Vestari-Héraðsvatna. Þetta er sýnt á mynd 19. Í þessari tilraun er unnið út frá flóðasviðsmynd með 25 ára endurkomutíma.



Mynd 19. Rennslishindrun á milli Hjarðarbóls (við Eyhildarholtsveg) og Þverár (við Siglufjarðarveg). Sjá nánar umræðu um landlíkan í kafla 4.4.1 ásamt mynd 27.

Sett er upp rennslishindrun (eða veggur) á milli Hjarðarbóls (við Eyhildarholtsveg) og Þverár (við Siglufjarðarveg). Eins og er sýnt á mynd 19, er þessi hindrun steipt beint inn í landlíkanið og er hæð hennar um 40 m.

Mynd 20 til hægri sýnir áhrif ofangreindrar lokunar og til samanburðar sýnir vinstri myndin niðurstöður án lokunar (þ.e. þegar vatn flæðir frjálst til Austari-Héraðsvatna), sbr. mynd 11. Eins og áður eru þessar hermanir gerðar á 4 m x 4 m reiknineti (kafla 3.2.1) og eru upptakasvæði flóða merkt með **A** og **B** á mynd 9.

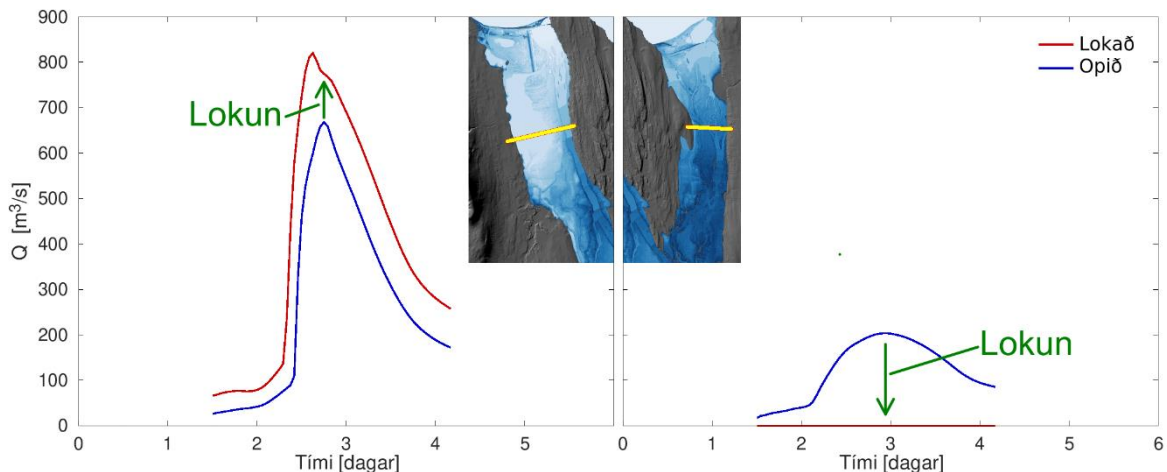


Mynd 20. Hámarksdýpi $d_{\max}$ og flóðaútbreiðsla fyrir sviðsmynd með 25 ára endurkomutíma, án (vinstri) og með (hægri) rennislökun til Austari-Héraðsvatna. Liturinn er í dýpi frá svörtu 0,1 m til hvíts 3 m.

Áhrif lokunar eru aðallega til staðar neðan hennar, u.þ.b. frá Kjartansstöðum að strönd Skagafjarðar. Áhrifin eru fyrst og fremst til staðar m.t.t. breytts hámarksdýpis vatns $d_{\max}$ og hámarkshraða þess $v_{\max}$, en eru lítil m.t.t. útbreiðslu flóðsins. Þó nær aðeins að flæða meira innan bæjarmarka Sauðárkróks, en eins og áður hefur verið nefnt, er ekki er tekið tillit til ræsa eða annarra frárennslismannvirkja sem kunna að hafa áhrif á útbreiðslu flóða og ber því að taka niðurstöðunum þar með fyrirvara. Óháð lokun, þ.e. hægri og vinstri mynd 20, fer allt undirlendið frá Geldingaholti og að Sauðárkróki undir vatn. Einnig nær vatnið norður fyrir flugvöllinn og umlykur hann, fyrir bæði tilfellin. Með lokun, þá nær aðeins að flæða yfir sjálfa flugbrautina. Þessa niðurstöðu ber að taka með fyrirvara þar sem ekki er tekið tillit til mannvirkja sem tengjast frárennsli vatns í kringum flugvöllinn.

Hámarksdýpisaukning $d_{\max}$ í Vestari-Héraðsvötnum, vegna lokunar á þeim austari, er tæplega hálfur metri en er almennt minna en það.

Mynd 21 sýnir rennsli sem fall af tíma fyrir Vestari- og Austari-Héraðsvötn. Á hægri og vinstri mynd sjást einnig tilsvareandi rennslisþversnið. Rennslið í Austari-Héraðsvötnum er það lítið að lokun þar eykur hámarksrennsli í þeim vestari aðeins um 15%.



Mynd 21. Rennslis sem fall af tíma fyrir Vestari- og Austari-Héraðsvötn með (rautt) og án (blátt) lokunar rennslis til Austari-Héraðsvatna (flóðasviðsmynd með 25 ára endurkomutíma).

Samantekt:

1. Hámarksdýpisaukning $d_{\max}$ í Vestari-Héraðsvötnum, vegna lokunar í þeim austari, er tæplega hálfur metri.
 - Straumhraðinn $v_{\max}$ eykst líka, en hins vegar breytist útbreiðsla flóða lítið.
2. Áhrif lokunar eru aðallega til staðar neðan hennar, u.þ.b. frá Kjartansstöðum að strönd Skagafjarðar.
3. Með og án lokunar rennslis til Austari-Héraðsvatna fer allt undirlendið frá Geldingaholti og að Sauðárkróki undir vatn. Einnig nær vatnið norður fyrir flugvöllinn og umlykur hann, í öllum tilfellum.

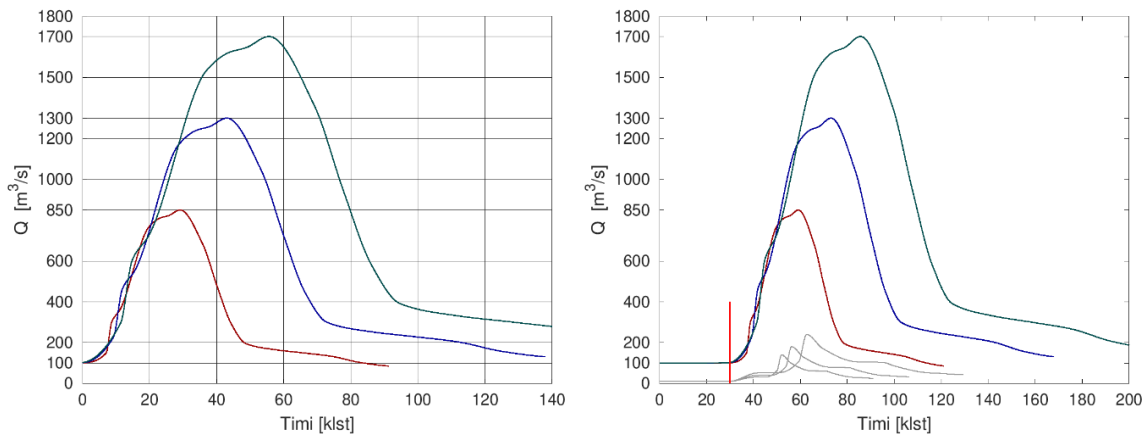
4.2 Ferðatími flóða

Í þessum kafla er reiknaður hraði flóða sem fall af endurkomutíma. Það má líta á þennan kafla sem beint framhald af kafla 4.1.1, þar sem hermun með sjávarhæð við sjávarmál á sér stað, eins og sést á mynd 10a. Markmiðið með þessari greiningu er að meta þann tíma sem viðbragðsaðilar hafa til að bregðast við slíkum atburðum.

Hafa ber í huga að niðurstöðurnar byggja á flóðasviðsmyndum og að aðstæður í raunverulegum atburðum geta verið frábrugðnar sviðsmyndunum. Því ber að líta á upplýsingar hér sem leiðbeinandi en ekki afgerandi.

Mynd 22 til vinstri sýnir rennslisritin fyrir Héraðsvötn sem hafa verið hliðruð um 30 klukkustundir svo flóðið frá upptakastæði A á mynd 9 virðist hefjast á tíma 0 klst. Sá upphafstími er sá sami og notaður er á myndum 23 til 25. Þessi hliðrun er eingöngu gerð til að auðvelda lestur myndanna. Hægri mynd 22 sýnir¹ rennslisritin án slíkrar hliðrunar og er í samræmi við það sem sést á mynd 8.

¹ Á mynd 22 eru einnig sýnd rennslisritin fyrir upptakastaðina við Húseyjarkvísl/Svartá (sjá B á mynd 9) lituð með gráu. Þar má sjá að þessir flóðtoppar eru um 10 sinnum minni en þeir sem eiga upptök í Héraðsvötnum (A á mynd 9) og þar af leiðandi er ekki tekið tillit til þeirra í núverandi umræðu. Athuga ber þó að bæði upptakastæðin eru alltaf virk í öllum hermunum (þ.e. bæði A og B á mynd 9).



Mynd 22. Hliðrað (vinstri) og óhliðrað (hægri) rennslisrit fyrir Héraðsvötn.

Vatnsdýpi er skoðað á fimm mismunandi stöðum og eru þeir eftirfarandi:

1. Við upptök reiknings, þ.e. við A á mynd 9 {hnit: 490663; 547697}
2. Stokkhólmi {hnit: 485063; 557276}
3. Grundarstokkur {hnit: 482761; 562092}
4. Ytri-Húsbakki {hnit: 478743; 570918}
5. Borgarsandur {hnit: 474517; 583073}

Ofangreind hnit (í ISN93/EPSC:3057) sýna staðsetningu á tilteknum mælistöðum.

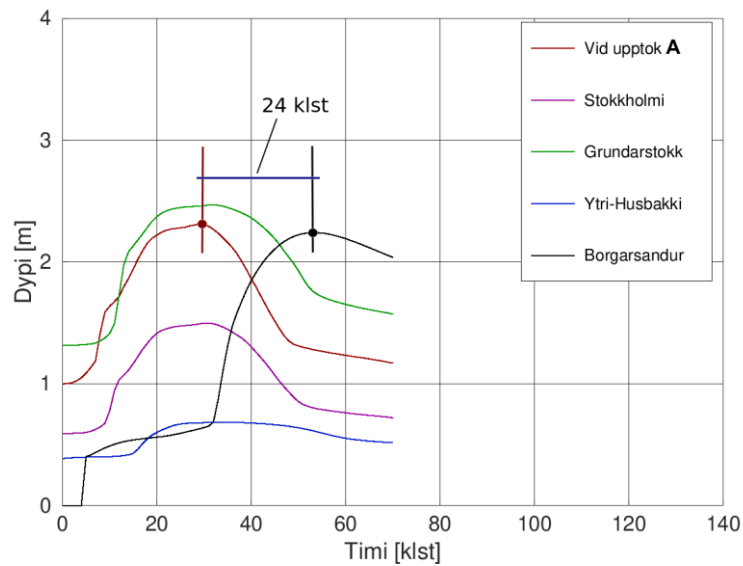
Eins og fram kemur hér að ofan er aðalupptakasvæði flóða staðsett fyrir neðan ármót Norðurár og Héraðsvatna. Upptakasvæðið er merkt með A á mynd 9, það er nálægt Herpistanga. Myndir 23 til 25 sýna vatnsdýpi sem fall af tíma við upptaksvæðið, Stokkhólma, Grundarstokk, Ytri-Húsbakka og Borgarsand. Með samanburði sést á þessum myndum að flóðstafinn (þ.e. fremsti hluti flóðsins) kemur fram á mjög svipuðum tíma fyrir öll tilfelli 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma. Ástæðuna fyrir þessari einsleitni má sjá á mynd 22. Þar sést að rishraði flóða er eins fyrir öll þessi tilfelli, sem þýðir að framhluti hvernar flóðasviðsmyndar er að ferðast á mjög svipuðum hraða.

Flóðstafinn er kominn að Stokkhólma eftir 4,5 klst., að Grundarstokki eftir 6 klst., Ytri-Húsbakka eftir 12,5 klst. og Borgarsandi eftir 31 klst. (sjá töflu 6). Athuga ber að skriftíðni í reiknilíkaninu GeoClaw var sett á 1 þannig að óvissa í lestri gagna er í kringum $\pm \frac{1}{2}$ klst.

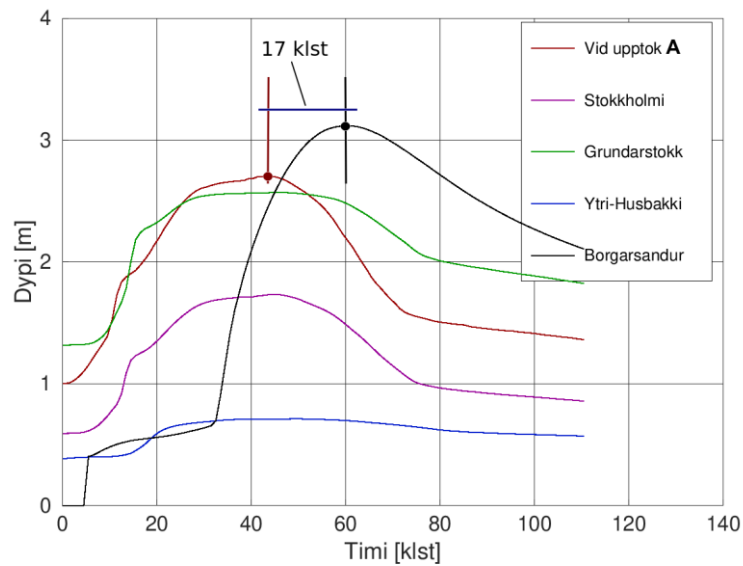
Tafla 6. Ferðatími (í klukkustundum) fremsta hluta hvernar flóðasviðsmyndar, þ.e. fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma, sjá myndir 23 til 25 (og texta um óvissu).

	Stokkhólmi	Grundarstokkur	Ytri-Húsbakki	Borgarsandur
Fremsti hluti flóðs	4,5	6	12,5	31

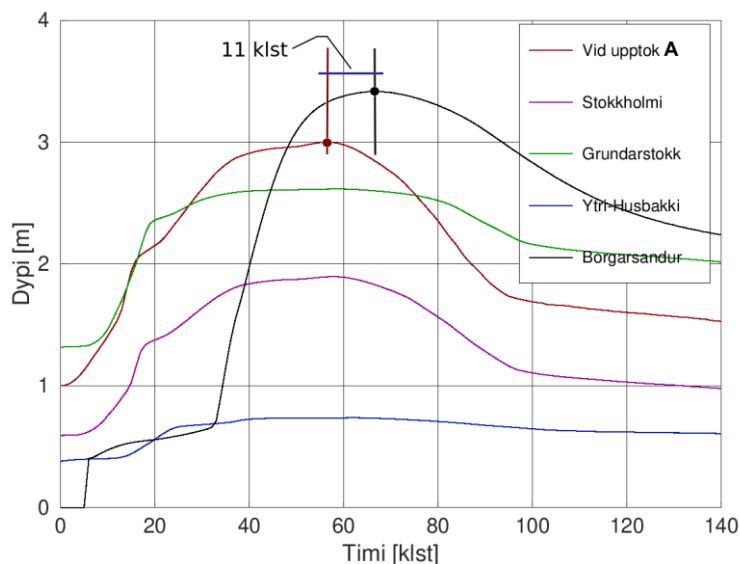
Út frá myndum 23 til 25 er einnig hægt að sjá hversu lengi hækkun yfirborðs stendur yfir, þ.e. tímabilið frá upphafi flóðs og að hámarki flóðsins. Gróflega séð stendur hækkun vatnsyfirborðs yfir í um hálfan sólahring fyrir 25 ára endurkomutíma, rúmlega sólahring fyrir 200 ára og tæplega 2 sólahringa fyrir 1000 ára endurkomutíma. Þessi tími er að hluta til vegna mismunandi lengdar flóðasviðsmynda fyrir mismunandi endurkomutíma (sjá mynd 22).



Mynd 23. Vatnsdýpi sem fall af tíma við mismunandi staði fyrir flóðasviðsmynd með 25 ára endurkomutíma.



Mynd 24. Vatnsdýpi sem fall af tíma við mismunandi staði fyrir flóðasviðsmynd með 200 ára endurkomutíma.



Mynd 25. Vatnsdýpi sem fall af tíma við mismunandi staði fyrir flóðasviðsmynd með 1000 ára endurkomutíma.

Tafla 7 sýnir ferðatíma hámarksflóðsins, það er mesta vatnsdýpis flóðsins, frá upptökum til mismunandi staða. Ferðatími hámarksins frá upptökum (sjá A á mynd 9) að Borgarsandi er sýndur á myndum 23 til 25 og eru þetta sömu gildin og í síðasta dálk töflu 7. Eins og áður hefur verið nefnt, var skriftíðni í GeoClaw sett á 1 klst, þannig að óvissa í lestri gagna er í kringum $\pm \frac{1}{2}$ klst. Að auki eru hámrörkin við Grundarstokk og Ytri-Húsbakka mjög löng og flöt sem leiðir til erfiðara mats á tímasetningu hámarksgilda og eykur óvissu fyrir þessi tvö tilvik. Því eru þessi gildi gefin í heilum klukkustundum.

Tafla 7. Ferðatími hámarksflóðs frá upptökum í klukkustundum. Sjá myndir 23 til 25 og texta um óvissu).

	Stokkholmi	Grundarstokkur	Ytri-Húsbakki	Borgarsandur
25 ára endkt.	1	3	5	24
200 ára endkt.	1	1	5	17
1000 ára endkt.	1	1	5	11

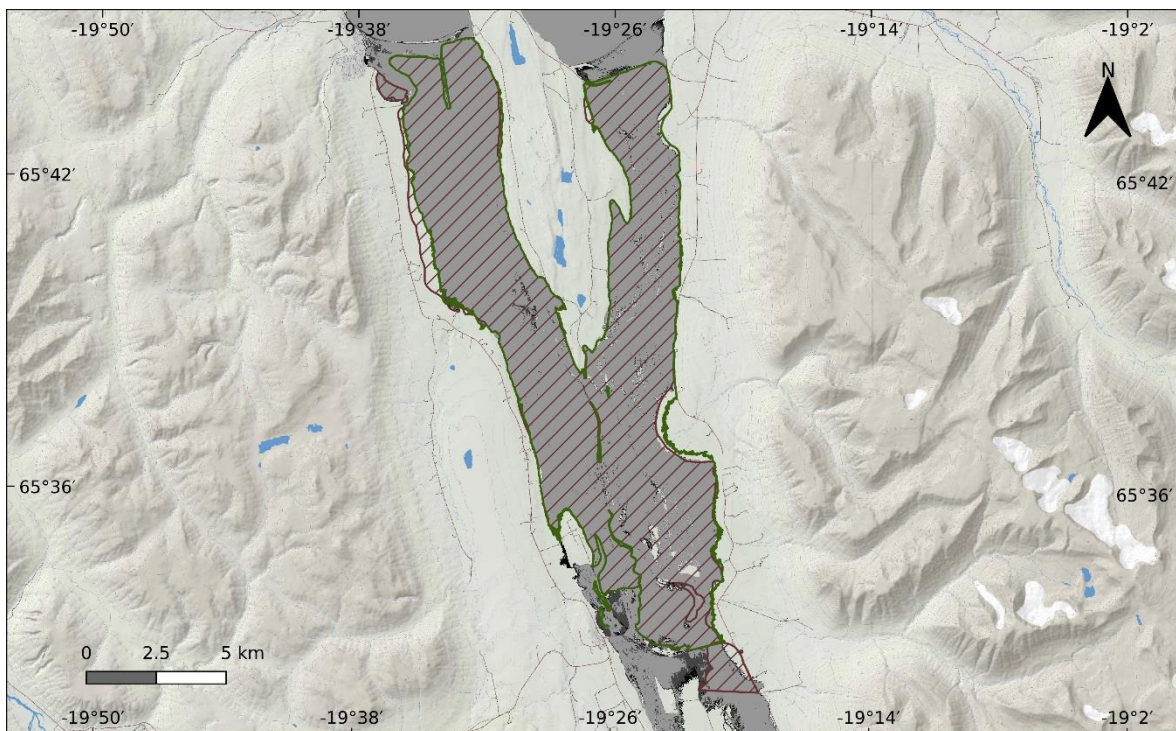
Samantekt:

1. Flóðstafn kemur að Stokkholma eftir 4,5 klst, Grundarstokk eftir 6 klst, Ytri-Húsbakka eftir 12,5 klst og Borgarsandi eftir 31 klst frá upphafi flóðs við upptök. Þetta gildir fyrir öll tilfelli, flóðasviðsmyndirnar með 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma.
2. Fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma er ferðatími hámarksflóðsins frá upptökum reiknings, A, til Borgarsands um 24, 17 og 11 klukkustundir. Þannig minnkar viðbragðstíminn um helming frá 25 til 1000 ára endurkomutíma.

4.3 Samanburður flóðasviðsmynda við desemberflóðin 2006

Eins og var rætt í kafla 2.3, var útbreiðsla flóðsins 20. desember 2006 metin út frá mælingum á stöku stað og hæðargögnum. Hér er útbreiðsla flóðsins árið 2006 borin saman við niðurstöður reikninga frá öllum sviðsmyndum, þ.e. með 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma. Þess ber að geta að lítill munur er á milli útbreiðslu sviðsmynda á svo stórum kvarða. Samanburðurinn er sýndur á mynd 26 og sést að reiknuð útbreiðsla sviðsmynda er nokkuð sambærileg því sem mældist 2006 (svo langt sem mælda útbreiðslan nær til suðurs), enda endurkomutími flóðsins

2006 á milli 25 og 200 ár við Grundarstokk. Þó er einhver mismunur milli mældrar og reiknaðrar útbreiðslu fyrir svæðið milli Sólvalla, Vallholts og Varmahlíðar og svæðið þar í kring. Við uppsetningu líkanreikninga var ákveðið að framkvæma líkanreikninga með upptök bæði í Svartá og við ármót Héraðsvatna og Norðurár. Flóðið 2006 var hins vegar að mestu leyti upprunnið úr Austari-Jökulsá og náði ekki nema um þriggja ára endurkomutíma í Svartá. Allar sviðsmyndirnar eru því eðlilega ofmat á útbreiðslu 2006 flóðsins í og við Svartá og Húseyjarkvísl.

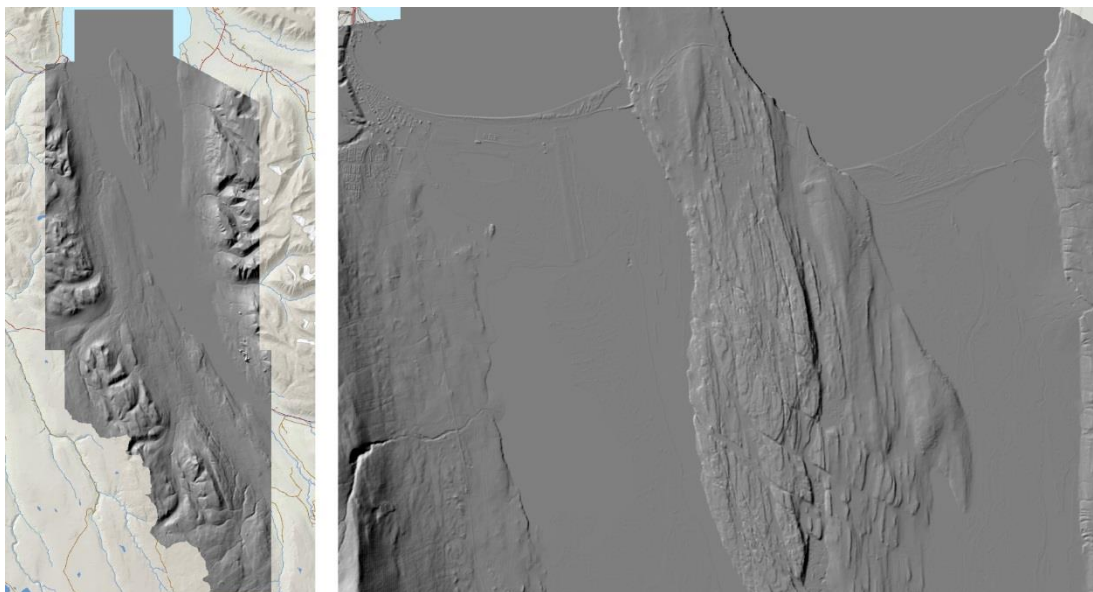


Mynd 26. Áætluð útbreiðsla flóðs árið 2006, græn lína og rauð-strikamerkta svæðið (sjá mynd 2) samanborið við líkanreiknaða útbreiðslu (gráir flákar). Ljósgrátt svæði er hermd dreifing flóðs fyrir 25 ára endurkomutíma. Undir er dökkgrátt svæði sem gildir fyrir 200 ára endurkomutíma og neðst er svart svæði fyrir 1000 ára endurkomutíma (sjá mynd 11).

4.4 Óvissupættir

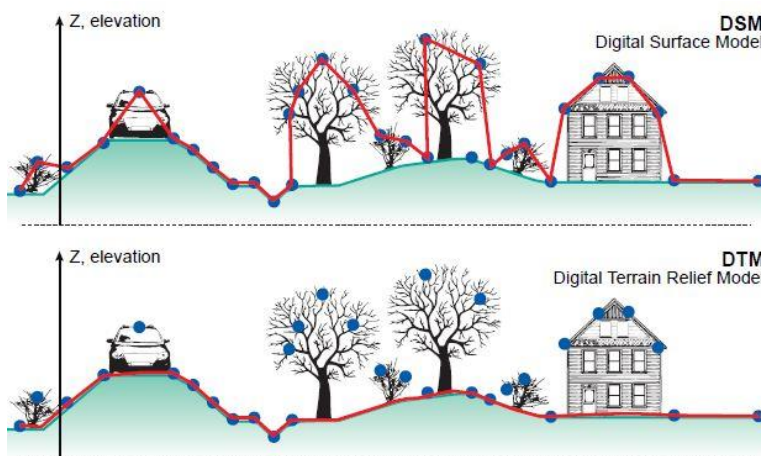
4.4.1 Landlíkan

Landlíkanið sem er notað í þessu verkefni er svokallað yfirborðslíkan (e. *digital surface model*) og kemur frá Landmælingum Íslands (2020). Auk þess var notast við landlíkan frá fyrirtækinu Svarma ehf á völdum stöðum. Landlíkanið byggir á gervitunglamyndum frá tímabilinu 2008 – 2012. Upplausn þess er 2 m x 2 m og sýnir vinstri mynd 27 landlíkanið í heild sinni. Hægri myndin sýnir þysjaða mynd inn að Vestari- og Austari-Héraðsvötnum sitthvoru megin við Hegranes, ásamt strandlengju Skagafjarðar.



Mynd 27. Yfirborðslíkanið sem er notað í þessu verkefni. Vinstri myndin sýnir líkanið í heild sinni á meðan hægri myndin sýnir þysjaða mynd að Vestari- og Austari-Héraðsvötnum sitthvoru megin við Hegranes.

Mynd 28 sýnir muninn á milli yfirborðslíkans (DSM) og landhæðarlíkans (DTM). Hvorug gerð þessara líkana taka tillit til manngerðra fyrirbæra undir yfirborði sem leitt geta vatn frá einum stað til annars, t.d. ræsa undir vegi, niðurfalla og/eða holræsakerfa. Af þeim sökum eykst óvissa um útbreiðslu flóða sem notast við líkön sem þessi, þar sem mikið er um slík fyrirbæri s.s. nærri þéttbýliskjörnum.



Mynd 28. Mismunur á milli yfirborðslíkans (DSM) og landhæðarlíkans (DTM), (CDEMA, á.á.).

Reikninet hermana er myndað út frá landlíkaninu á mynd 27 og er upplausn þess á 4 m x 4 m. Hæð innan hvers reiknireits byggir á meðalhæð innan þess svæðis. Þetta er sýnt á mynd 29. Myndin til vinstri sýnir upplausn reikninet á 4 m x 4 m á meðan myndin til hægri sýnir meðaltalsgildi innan hvers reiknireits fyrir sama svæðið. Tiltekin hermun sér aðeins þá nákvæmni sem er sýnd til hægri. Að framkvæma reikninga á 2 m x 2 m er mögulegt en kostar þó um tífalt lengri reiknitíma. Einnig myndi gagnamagnið úr hverri keyrslu fjórfaldast með bæði erfiðari og tímafrekari úrvinnslu gagna.

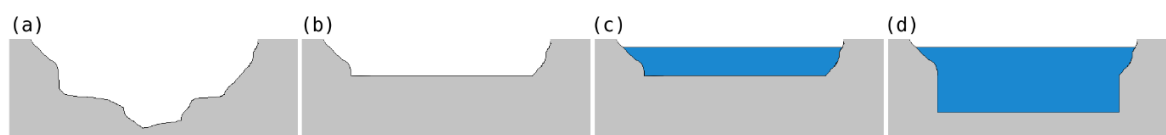


Mynd 29. Upplausn reikninet á 4 m x 4 m fyrir tiltekið svæði (vinstri) og meðaltalsgildi innan hvers reiknireits fyrir sama svæðið (hægri).

4.4.2 Ástand farvegar í landlíkani

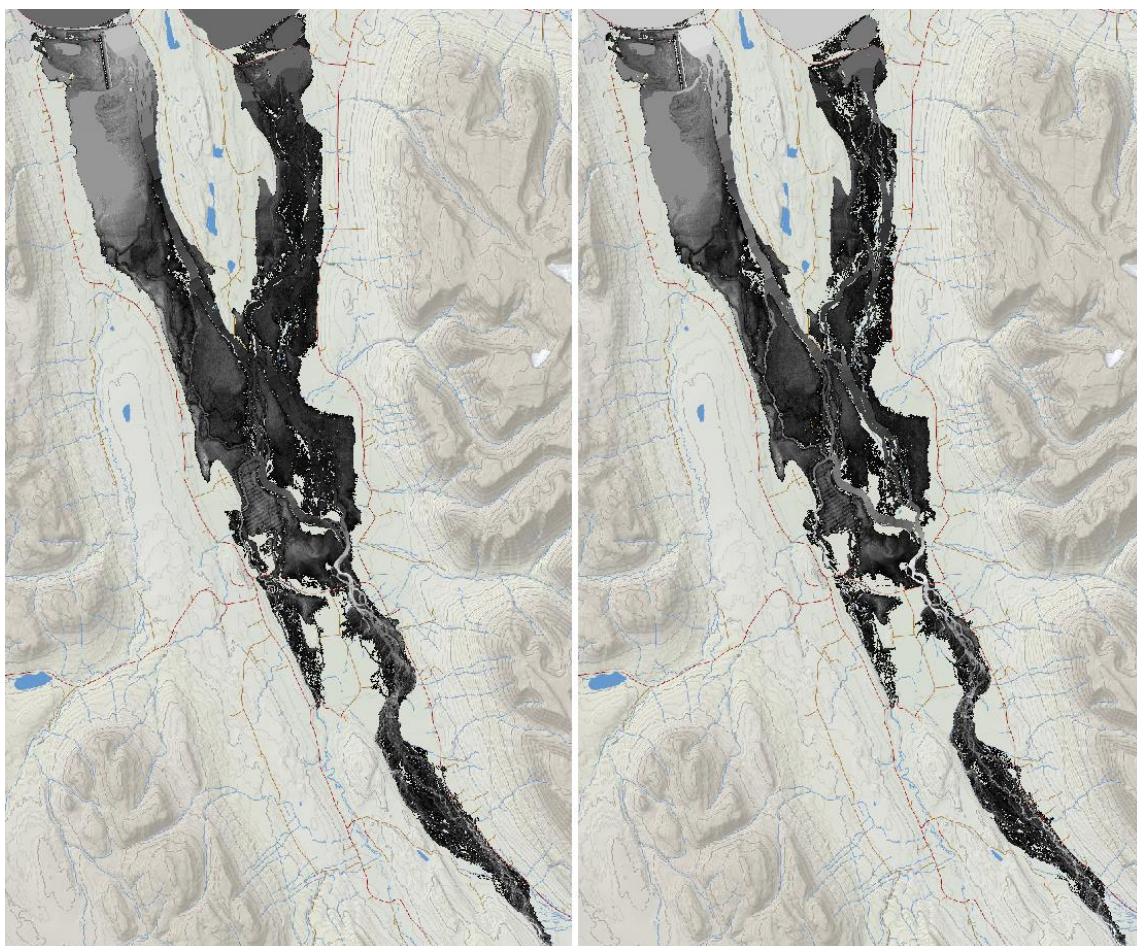
Eins og fyrr var nefnt, kemur landlíkanið frá Landmælingum Íslands og er yfirborðslíkan (DSM). Líkanið tekur því ekki sem slíkt tillit til botns á farvegum vatnsfalla (e. *bathymetry*) heldur lýsir frekar yfirborðshæð vatns í farvegnum á þeim tímapunkti sem fjarkönnunargögnin að baki líkaninu byggja á. Með öðrum orðum, þegar hermun er keyrð, er það með farveg sem lýsir yfirborði vatns eins og sýnt er á myndum 30b og c (það sama gildir einnig fyrir tjarnir og stöðuvötn svo sem Miklavatn). Með slíkan sléttan eða flatan farveg getur vatnsrýmd farvegar verið mögulega of lítil eða a.m.k. minni en gildir í raun. Þetta gæti aukið á dreifingu flóða út fyrir farveg meira en það sem væri eðlilegt.

Til að athuga næmni niðurstaðna flóðahermana á dýpt farvegs var reikningurinn með 25 ára endurkomutíma endurtekinn, þar sem farvegurinn var dýpkaður um 0,5 m. Þetta ferli er sýnt á mynd 30d.



Mynd 30. Raunverulegur farvegur (a); farvegur eins og er í landlíkani (b); farvegur landlíkans með vatni (c) og með vatn í dýpkuðum farvegi (d).

Mynd 31 til vinstri sýnir niðurstöðu venjulegrar hermunar með ódýpkaðan farveg fyrir sviðmynd með 25 ára endurkomutíma (sbr. mynd 30c). Mynd 31 til hægri sýnir sama tilfellið, hins vegar nú með dýpkaðan farveg um 0,5 m (sbr. mynd 30d). Samanburður á þessum niðurstöðum sýnir að lítill mismunur er til staðar á milli hermananna. Þetta þýðir í raun að ástand farvega í landlíkaninu hefur lítil áhrif á reikninga á flóði með 25 ára endurkomutíma (og þá einnig öll stærri flóð en það). Þetta er út af því hversu miklu meira rennsli er í flóðum af þessari stærð heldur en í meðalástandi. Vanmat á rýmd farvega, sem samsvarar til rennslis í ánni þegar fjarkönnunargögnunum bak við landlíkanið var safnað, hefur því lítil hlutfallsleg áhrif. Hins vegar skiptir rétt ástand farvegs mun meira máli fyrir smærri flóð og sérstaklega fyrir venjulegt meðalrennsli þegar þetta vanmat á rýmd farvega er hlutfallslega mun meira miðað við rennslíð sem verið er að skoða (sjá viðauka I).



Mynd 31. Niðurstöður hermána flóðasviðmyndar með 25 ára endurkomutíma. Óbreytt landlíkan til vinstri en farvegir dýpkaðir um 0,5 m til hægri. Liturinn er í dýpi frá svörtu við 0,1 m og yfir í hvítt við 3 m.

4.4.3 Aðrir óvissuþættir

Við skoðun og túlkun á niðurstöðum er gott að hafa í huga að ýmsar takmarkanir fylgja þeirri aðferðafræði og þeim nálgunum sem gerðar eru innan verkefnisins. Þá ber fyrst að nefna óvissuþætti, s.s. lengd og gæði tímaraðar rennslis sem hefur mikil áhrif á flóðagreiningu og þar með mat á stærð þeirra flóða sem líkanreiknuð eru (kafla 2.4). Einnig er hér unnið með greiningu á endurkomutíma flóða sem eru langt umfram lengd tímaraða og í raun má velta fyrir sér hvaða upplýsingar er eðlilegt að draga út frá styttri tímaröðum, sérstaklega þegar komið er upp fyrir 200 ára endurkomutíma. Líkanreikningar eru hér framkvæmdir án upplýsinga um botn farvega sem veldur einnig óvissu sem og notkun á föstu hrýfisgildi (kaflar 3.2.1 og 4.4.2). Þessar nálganir eru taldar innan eðlilegra marka miðað við aðra óvissuþætti.

Eins og áður hefur komið fram er ekki tekið tillit til náttúrulegra breytinga né mannglegrar íhlutunar í líkanreikningum, þótt slíkt geti haft veruleg áhrif á niðurstöðu hættumats. Dæmi um þetta eru ræsi, framburður eða breytingar á árbotni. Því er aukin óvissa í niðurstöðum líkanreikninga við strandlengju, flugvöll og bæjarmörk, þar sem mannvirki eins og ræsi geta haft umtalsverð áhrif.

Staðsetning upptaka reiknings (sjá **A** og **B** á mynd 9) er valin með það að markmiði að líkanreikningar nái yfir sem flesta staði en einnig er leitast við að lágmarka reiknitíma. Aðalvatnshæðarmælininn í þessu verkefni er VHM 77, en staðsetning upptaka reiknings, **A** á mynd 9, er töluvert ofar þeim stað. Þetta getur valdið ofmati í niðurstöðum frá upptökum reikninga og að vatnshæðarmælinum. Að sama skapi er líkanið keyrt langt niður fyrir þennan

mæli og má því gera ráð fyrir vanmati eftir því sem neðar dregur á vatnasviðinu og búast má við að aukið vatn úr þverám og lækjum bætist við rennsli í flóðum. Einnig má nefna að líkanreikningar verkefnisins sýna einungis niðurstöður innan vatnsfallsins, en ekki innan lækja og þveránna sem í það falla. Í sumum tilfellum má sjá hvar flóðvatn leitar eitthvað upp í þverár og lækir en þeim niðurstöðum ber að taka með fyrirvara.

Heimildir

- Andréa-Giorgio R. Massad, Guðrún Nína Petersen, Tinna Þórarinsdóttir og Matthew James Roberts (2020). *Reassessment of precipitation return levels in Iceland*. Skýrsla VÍ 2020-008. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Berger M.J., George D.L., LeVeque R.J., Mandli K.T. (2011). „The GeoClaw software for depth-averaged flows with adaptive refinement“. *Advances in Water Resources*, 34, 1195 – 1206.
- Bergur Einarsson, Einar Hjörleifsson, Tinna Þórarinsdóttir og Matthew J. Roberts (2022). *Áhættumat vegna jökulhlaupa frá Sólheimajökli*. Skýrsla VÍ 2022-001. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- CDEMA (á.á.). The Caribbean Disaster Emergency Management Agency, „3.2 Digital Elevation Models“, <https://www.cdema.org/>
- Clawpack Development Team (2020), Clawpack Version 5.7.1, <http://www.clawpack.org>, doi: 10.5281/zenodo.4025432
- Crochet, P. (2022). Hydrological response of Icelandic river basins to projected climate change during the 21st century. A case study, s.l.: Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar.
- Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA) (2006a). *Flood Risks to People*. Phase 2 (Skýrsla FD2321/TR2).
- Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA) (2006b). R&D OUTPUTS: *Flood Risks to People*. Phase 2 (Skýrsla FD2321/TR1).
- Emmanuel Pagneux, Guðrún E. Jóhannsdóttir, Tinna Þórarinsdóttir, Hilmar B. Hróðmarsson og Davíð Egilson (2017). *Flóð á vatnasviðum Eyjafjarðarár, Héraðsvatna, Hvítár í Borgarfirði, Lagarfljóts og Skjálfandafljóts: I. Yfirlit yfir orsakir, stærð og afleiðingar sögulegra atburða*. Skýrsla VÍ 2017-006. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Emmanuel Pagneux, Matthías Á. Jónsson, Tinna Þórarinsdóttir, Bogi B. Björnsson, Davíð Egilson og Matthew J. Roberts (2018). *Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá - Hermun flóðasviðsmynda*. Skýrsla VÍ 2018-008. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Emmanuel Pagneux, Matthías Á. Jónsson, Bogi B. Björnsson, Sif Pétursdóttir, Njáll F. Reynisson, Hilmar B. Hróðmarsson, Bergur Einarsson og Matthew J. Roberts (2019). *Hættumat vegna vatnsflóða í Ölfusá*. Skýrsla VÍ 2019-013. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- European Commission (2016). *EU overview of methodologies used in preparation of Flood Hazard and Flood Risk Maps*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- George, D. (2010). „Adaptive finite volume methods with well-balanced Riemann solvers for modeling floods in rugged terrain: Application to the Malpasset dam-break flood (France, 1959)“. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 66(8), 1000 - 1018.
- Guðrún Elín Jóhannsdóttir (2019). *Methods for Coastal Flooding Risk Assessments: An Application in Iceland*, Degree Project at the Department of Earth Sciences, ISSN 1650-6553 Nr 470, Uppsala University, Sweden.
- Halldór Björnsson, Guðrún Elín Jóhannsdóttir, Angel Ruiz Angulo, Kevin Dubois og Emil Snorri Árnason (2022a). *Mat á endurkomutíma óveðursflóða reiknað með Delft3D-FM*. Skýrsla VÍ 2022-009. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Halldór Björnsson, Guðrún Elín Jóhannsdóttir, Angel Ruiz Angulo, Kevin Dubois og Emil Snorri Árnason (2022b). *Fylgiskjal skýrslu: Mat á endurkomutíma óveðursflóða reiknað með Delft3D-FM*. Fylgiskjal skýrslu VÍ 2022-009. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Hilmar Björn Hróðmarsson og Tinna Þórarinsdóttir (2018). *Flóð íslenskra vatnsfalla - flóðagreining rennslisraða*, Reykjavík: Veðurstofa Íslands

- Hilmar Björn Hróðmarsson (2015). *Héraðsvötn, Grundarstokkur, vhm 77, V77: Rennslisröð 1966 - 2014*. Greinargerð HBH/2015-06. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Kristinn Guðmundsson (1993). *Flóð þrettán vatnsfalla. Samvinnuverkefni Vegagerðar Ríkisins og Orkustofnunar*. Skýrsla OS-93044/VOD-03. Reykjavík: Orkustofnun, Vegagerð Ríkisins.
- LeVeque, R.J. (2002). *Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems*, Cambridge University Press.
- LeVeque, R.J., George, D.L. & Berger M.J. (2011), „Tsunami modelling with adaptively refined finite volume methods“, *Acta Numerica*, 20, 211 - 289.
- Mandli, K. T., Dawson, C. N. (2014). „Adaptive Mesh Refinement for Storm Surge“. *Ocean Modelling*, 75, 36 - 50.
- Matthías Ásgeir Jónsson, Tinna Þórarinsdóttir, Emmanuel Pagneux, Bogi B. Björnsson, Davíð Egilson, Tómas Jóhannesson og Matthew J. Roberts (2018). *Hættumat vegna jökulhlaupa í Skaftá: Kvörðun straumfræðilikans*. Skýrsla VÍ 2018-007. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Pagneux, E. og Roberts, M. J. (2015). „Öræfi district and Markarfljót outwash plain: Rating of flood hazards“. In E. Pagneux, M. T. Guðmundsson, S. Karlsdóttir og M. J. Roberts (Eds.), *Volcanogenic floods in Iceland: An assessment of hazards and risks at Öræfajökull and on the Markarfljót outwash plain* (pp. 101–122). Reykjavík, Iceland: IMO, IES-UI, NCIP-DCPEM.
- Sigríður Sif Gylfadóttir, Jón Kristinn Helgason, Sveinn Brynjólfsson, Eiríkur Gíslason og Tómas Jóhannesson (2016). *Hættumat vegna berghlaupa í Öskju*. Skýrsla VÍ 2016-007. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Sigríður Sif Gylfadóttir, Tinna Þórarinsdóttir, Emmanuel P. Pagneux og Bogi Brynjar Björnsson (2017). *Hermun jökulhlaupa í Jökulsá á Fjöllum með GeoClaw*. Skýrsla VÍ 2017-004. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Sigurjón Rist og Loftur Þorsteinsson (1981). *Flóð íslenskra vatnsfalla*. Reykjavík: Orkustofnun SR-81/05.
- Sigurjón Rist (1990). *Vatns er þörf*. Reykjavík: Bókaútgáfa Menningarsjóðs.
- Snorri Zóphóníasson og Bjarni Kristinsson (2008). *Rennslisgögn úr vatnshæðarmæli 10 í Svartá í Skagafirði við Reykjafoss: árin 1962-1997*. Reykjavík: Vatnamælingar.
- Tinna Þórarinsdóttir, Bergur Einarsson, Matthew J. Roberts og Einar Hjörleifsson (2020). *Áhættureikningar vatnsflóða og jökulhlaupa: Notkun aðferðafræði frá DEFRA við áhættumat á Íslandi*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands, greinargerð TTh/ofl/2020-01.
- Tinna Þórarinsdóttir, Matthew J. Roberts, Jón Elvar Wallevik, Bogi Brynjar Björnsson og Andréa-Giorgio R. Massad (2021). *Hættumat vatnasviða: Eyjafjarðará, Héraðsvötn, Hvítá í Borgarfirði, Lagarfljót og Skjálfandafljót*. Greinargerð TTh/ofl/2021-01. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Tinna Þórarinsdóttir, Matthew J. Roberts og Bergur Einarsson (2022). *Tillögur að áhættuviðmiðum fyrir vatnsflóð*. Skýrsla VÍ 2022-005. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Veðurstofa Íslands (2010). *Héraðsvötn í Skagafirði – desember flóð 2006: Flóðakort 1:20.000*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands/BBB.
- Veðurstofa Íslands (2016). *Vatnshæðarskýrsla vatnsárið 2014/2015, V77, Héraðsvötn, Grundarstokkur*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Vegvísir um rannsóknarinnviði 2021 (Júní 2021), Mennta- og menningarmálaráðuneytið, Stjórnarráð Íslands.
- Versteeg H.K., Malalasekera W. (2007). *An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method*, Second Edition, Pearson Education Limited.
- Vísindanefnd (2023) Ágrip. Í skýrslu nefndarinnar: Halldór Björnsson, Anna Hulda Ólafsdóttir, Bjarni Diðrik Sigurðsson, Borgný Katrínardóttir, Brynhildur Davíðsdóttir, Gígja

Gunnarsdóttir, Guðfinna Th. Aðalgeirsdóttir, Guðjón Már Sigurðsson, Helga Ögmundardóttir, Hildur Pétursdóttir, Hlynur Bárðarson, Starri Heiðmarsson og Theódóra Matthíasdóttir. (2023). Umfang og afleiðingar hnattrænna loftslagsbreytinga á Íslandi. Fjórða samantektarskýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar. Veðurstofa Íslands.

Viðauki I. Hermun ísstífluflóða

I.1 Inngangur

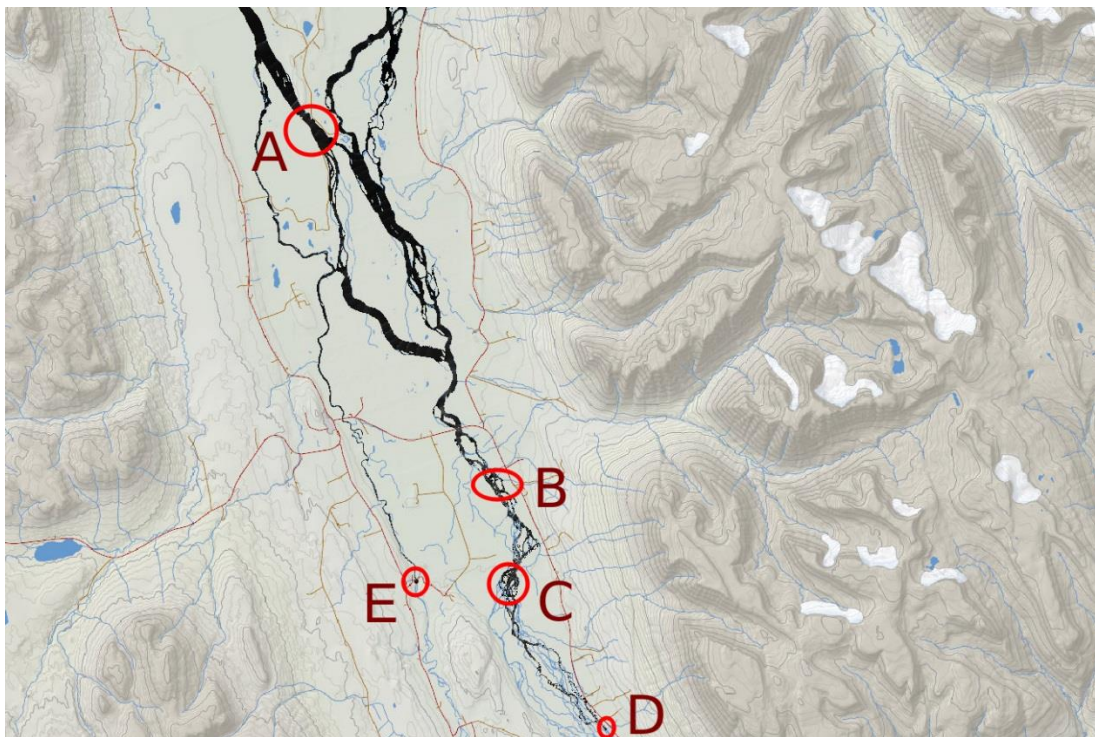
Í þessum hluta eru metin áhrif ísstífluflóða með hjálp hermuna. Þessi vinna hefur reynst torsótt vegna næmni slíkra reikninga bæði fyrir réttu ástandi landlíkans og fyrir upplýsingum um botn farvega, sem oft vantar (sjá einnig kafla 4.4 um óvissuþætti tengda landlíkani). Þegar neðangreindar niðurstöður eru skoðaðar ber að hafa í huga að þessi hluti er á tilraunastigi. Því eru engin hættumatskort gefin út á grundvelli ísstíflureikninganna.

I.2 Áhrif loftslagsbreytinga á líkur á myndun ísstíflna

Ekki er ljóst hvaða áhrif loftslagsbreytingar hafa á líkur á myndun ísstíflna. Almenn séð má búast við að líkur á ísmyndun í ánni minnki og að ísþykkt verði minni með hlýnandi veðurfari. Hvort tveggja leiðir til þess að minni líkur eru á að ísstíflur myndist (Emmanuel Pagneux o.fl., 2019). Aftur á móti ef tíðni rigninga- og leysingaþurða að vetri eykst, eins og búast má við í hlýrra veðurfari (Vísindanefnd, 2023), gætu oftar skapast aðstæður til myndunar ísstíflna og líkur á þeim því aukist. Án frekari rannsókna er óljóst hvor þessara ferla verður ráðandi. Einnig er mögulegt að önnur óþekkt ferli eða samspil ferla hafi afgerandi áhrif á myndun (Emmanuel Pagneux o.fl., 2019).

I.3 Uppsetning hermuna

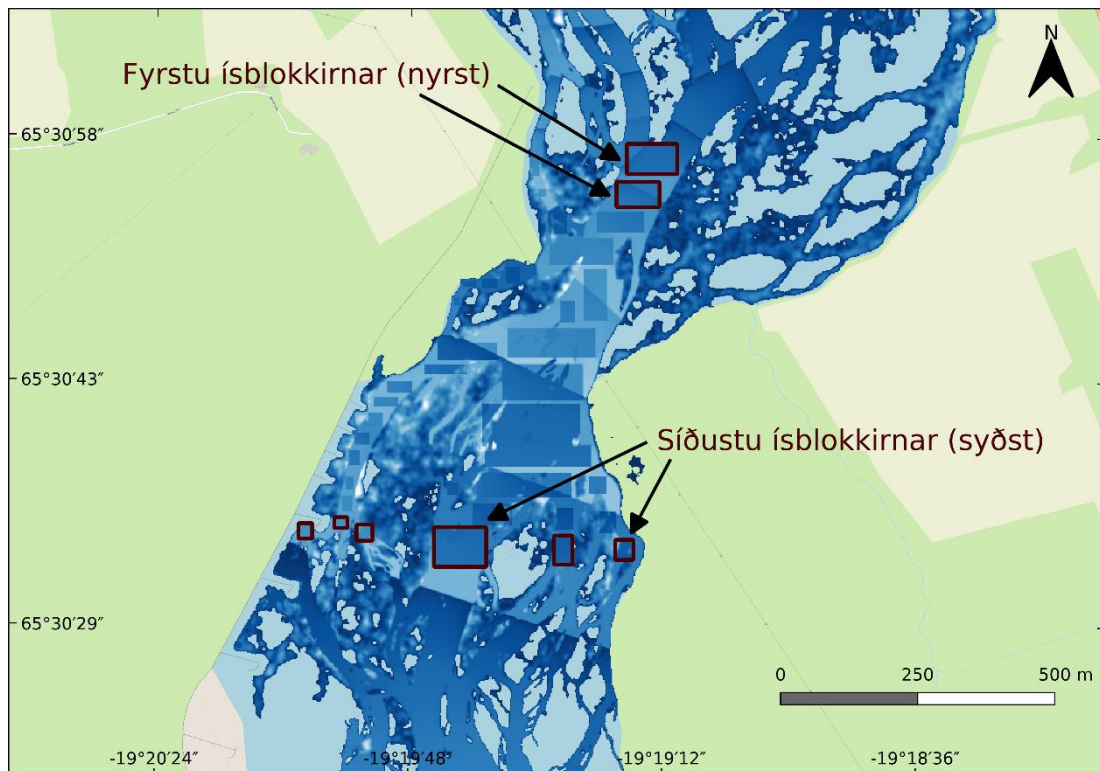
Gerðar voru tilraunir með ísstíflureikninga á þremur stöðum: Ytri-Húsbakka (IJS-19), Stóru-Akra (IJS-20) og Stokkhólma (IJS-40). Auðkenni ísstíflustaða, IJS-XX, eru fengin frá Emmanuel Pagneux o.fl. (2017). Þessi þrjú svæði eru merkt með **A**, **B** og **C** á mynd 32.



Mynd 32. Tilraunir með ísstíflureikninga við þrjú staði Ytri-Húsbakka (A), Stóru-Akra (B) og Stokkhólma (C). Aðalupptakasvæði flóða, nálægt Úlfstöðum, er merkt með D. Seinna upptakasvæðið, við Húseyjarkvísl/Svartá, er merkt með E.

Reikninetið er myndað frá landlíkaninu á mynd 27 (sjá kafla 4.4) og er upplausn reikninetnsins nú á 2 m x 2 m í stað 4 m x 4 m áður. Afleiðing af þessu er að reiknitími tífaldast. Til að minnka þennan tíma er allt reiknisvæðið minnkað frá því sem áður var, ásamt nauðsynlegri færslu á upptakasvæði flóða frá **A** á mynd 9, norðar til **D** á mynd 32 (þ.e. nálægt Úlfsstöðum). Upptakasvæðið við Húseyjarkvísl/Svartá, merkt með **E**, er óbreytt í þessari útfærslu (sjá **B** á mynd 9) og hefur nú fast rennsli upp á 8 m³/s. Fyrir upptakasvæðið **D** á mynd 32 er annaðhvort notast við fast rennsli 25 m³/s eða fast rennsli 50 m³/s (í stað rennslisrita af mynd 8). Þessi gildi byggja á mældum meðalrennslisgildum. Í þessu verkefni fær ísstíflan að þróast með eftirfarandi hætti:

1. Ísstíflan myndast frá norðri á tilteknum stað og getur vaxið lárétt milli 700 til 1000 m til suðurs eftir aðalfarvegi árinna.
2. Ísstíflan samanstendur af 10 til 40 ísblokkum (*háð flækjustigi farvegsins á hverjum stað*).
3. Hæð hverrar ísblokkar er ákvörðuð af hæsta nágrannapunkti í landlíkani við farveginn á viðkomandi stað. *Við fullan lóðréttan vöxt nær vatn samt sem áður að streyma yfir blokkirnar sem þá herma eftir streymi vatns undir ísstíflu. (Þar sem hreyfijafnan er dýpisheilduð, sjá kafla 3.1, er lóðréttu víddin ekki beint hermd. Í þessu samhengi eru hugtökin „uppi“ og „niðri“ því jafngild. Vatnsrennsli „undir ísstíflu“ jafngildir þar með vatnsrennsli „yfir ísstíflu“.*
4. Samkvæmt lið 1 byrjar vöxturinn (þ.e. fyrsta ísblokkinn) nyrst. Þar á eftir, með klukkutíma millibili, byrja hinar ísblokkirnar að vaxa hver á eftir annarri í átt til suðurs, þar til síðasta blokkinn byrjar að vaxa syðst, sjá mynd 33.
5. Lóðréttur vöxtur hverrar ísblokkar tekur 12 klst. Vaxtarhraði ákvarðast af endanlegri hæð sem ræðst af landlíkani (sbr. lið 3), og er yfirleitt í kringum 10-20 cm/klst.
6. Þegar syðsta ísblokkinn hefur haldið hæð sinni í 36 klukkustundir rofnar öll ísstíflan samtímis. Þetta þýðir að nyrsta ísblokkinn hefur haldið vexti sínum mun lengur en 36 klukkustundir, þar sem hún byrjaði að halda hæð sinni áður en sú syðsta náði sínum 36 klukkustundum.



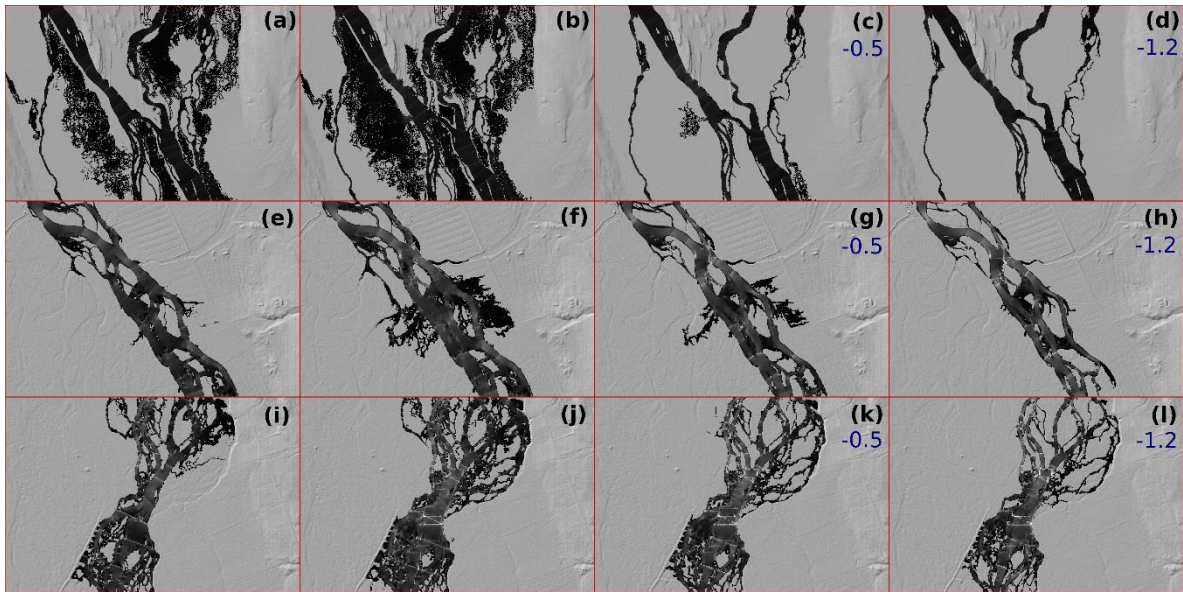
Mynd 33. Dæmi um staðsetningu og lögun ísblokka við fullan vöxt (við Stokkhólma).

Mynd 33 sýnir dæmi um staðsetningu og lögun ísblokka við fullan vöxt. Þetta dæmi gildir við Stokkhólma (sjá C á mynd 32). Myndun ísblokka byrjar nyrst (efst) og vex til suðurs (neðst) og er fjöldi blokka í þessu dæmi 38. Samsvarandi gildir einnig fyrir Ytri-Húsbakka og Stóru-Akra (sjá A og B á mynd 32).

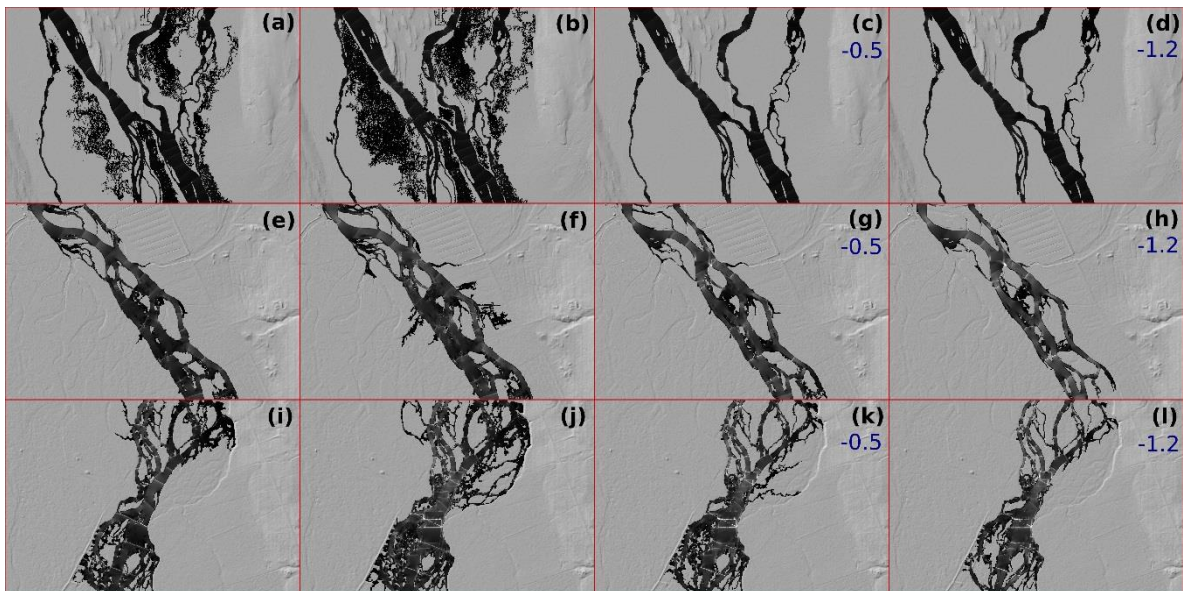
I.4 Niðurstöður

I.4.1 Hámarksútbreiðsla flóða

Mynd 34 sýnir hámarksútbreiðslu flóða í kringum fyrrgreinda þrjá staði. Í þessu tilfalli er rennslið $25 \text{ m}^3/\text{s}$. Myndirnar (a) til (d) eru við Ytri-Húsbakka, (e) til (h) við Stóru-Akra og (i) til (l) við Stokkhólma.



Mynd 34. Hámarksútbreiðslu flóða fyrir tilfallið $Q = 25 \text{ m}^3/\text{s}$ frá upptakasvæði D.



Mynd 35. Hámarksútbreiðslu flóða fyrir tilfallið $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ frá upptakasvæði D.

Myndir 34 (a), (e) og (i) sýna tilfallin án ísstífluflóða og eru hafðar til samanburðar. Myndir (b), (f) og (j) eru með ísstífluflóð, myndaðar eins og lýst er í viðauka I.3 (sjá mynd 3.3). Þessar myndir

sýna minni útbreiðslu flóða en búist var við samkvæmt lýsingum þegar myndun ísstíflna hafði átt sér stað á þessum svæðum.

Mynd 35 er eins sett upp og mynd 34, nema nú er rennslið 50 m³/s. Eins og gildir fyrir mynd 34 eru myndir (b), (f) og (j) einnig með minni útbreiðslu flóða en búist var við samkvæmt lýsingum af atburðum.

Í kafla 4.4 var útskýrt að landlíkanið er yfirborðslíkan sem tekur aðeins tillit til vatnsyfirborðs í farvegum en ekki botns árinna. Með öðrum orðum, við hermun er farvegurinn flatur, eins og sýnt er á 30b og c. Þetta hefur í för með sér að vatnsrýmd farvegar er ekki rétt reiknuð, nokkuð sem gæti átt þátt í að trufla ísstíflureikningana og leitt til minni útbreiðslu flóða eins og sýnt er með myndum (b), (f) og (j). Með þetta í huga voru allir reikningarnir endurteknir þar sem farvegir voru annars vegar dýpkaðir um 0,5 m (niðurstöður (c), (g) og (k) á myndum 34 og 35) og hins vegar um 1,2 m (niðurstöður (d), (h) og (i)). Með þessari aðgerð eykst þykkt hverrar ísstíflu þannig að hún nær alltaf upp í hæsta nágrannapunktinn í landlíkani við farveg (skv. lið 3. í viðauka I.3). Dýpkun farvegar leiddi í raun til minni hámarksútbreiðslu flóða. Þetta bendir til þess að vandamálið tengist ekki dýpi farvegarins, heldur frekar skorti á réttum breytileika í farvegi. Sú staðreynd að farvegurinn sé alltaf flatur, með fasta dýpt, er hugsanlega truflandi þáttur í ísstíflureikningunum.

Það sem gæti einnig átt þátt í að trufla ofangreinda reikninga eru smávægileg frávik í landlíkaninu sem erfitt er að ráða við. Sem dæmi eru breytingar frá því ástandi sem landlíkanið byggir á, svo sem á varnargörðum og annarri landmótun sem fylgir almennri landnotkun. Slíkt getur haft umtalsverð áhrif á niðurstöður fyrir lítið- og meðalrennsli (< 100 m³/s). Hins vegar, fyrir stærri flóð eins og fjallað er um í kafla 4, þar sem hámarksrennsli nær allt að 1700 m³/s, hafa ofangreind frávik hverfandi áhrif. Fyrst og fremst eru það stærri drættir landlíkans sem stjórna rennsli stórflóðs.

Í neðangreindum kafla, þ.e. viðauka I.4.2, er sýnt dæmi um áhrif smávægilegra breytinga á landlíkaninu við farveg undir litlu rennsli. Er þetta gert til að ítreka ofangreinda málsgrein um næmni reikninganna gagnvart smáatriðunum í landlíkaninu við slík skilyrði. Þessi breyting á landlíkaninu er gerð út frá myndum sem teknar voru af Páli Friðrikssyni við Stokkhólma árið 2021.

I.4.2 Áhrif smávægilegra breytinga á landlíkani

Árið 2021 varð rof í varnargarði við Stokkhólma og flæddi þar í gegn. Þetta er sýnt á myndum 36 og 37. Myndir 34j og 35j sýna niðurstöðu hermana þar sem varnargarðar eru í lagi, skv. landlíkaninu, en þá flæðir ekki í átt að bænum. Vegna mismunar á raunverulegum aðstæðum með rofnum varnargarði (myndir 36 og 37) og aðstæðunum sem landlíkanið lýsir ná niðurstöðurnar á myndum 34 og 35 ekki að herma afleiðingar rofsins.

Í hermuninni sem hér er lýst, er rof látið myndast á sama stað og þar sem græni hringurinn er á mynd 37. Þetta rof er ekki sett inn í landlíkanið, heldur er það forritað beint inn í reiknilíkanið og látið myndast hratt. Það byrjar á sama tíma og myndun ísstíflna á þessu svæði og er u.þ.b. einn metri á dýpt miðað við vatnsborð² og um 30 m á breidd. Rennsli í þessari tilraun er sett sem 50 m³/s. Myndir 38 og 39 sýna útkomu á þessari uppsetningu við 7 og 14 klst. eftir myndun rofs. Guli hringurinn á mynd 38 er á sama stað og græni hringurinn á mynd 37.

² Tæplega tvo metra, miðað við hæsta næsta punkt varnargarðs á þessum stað.



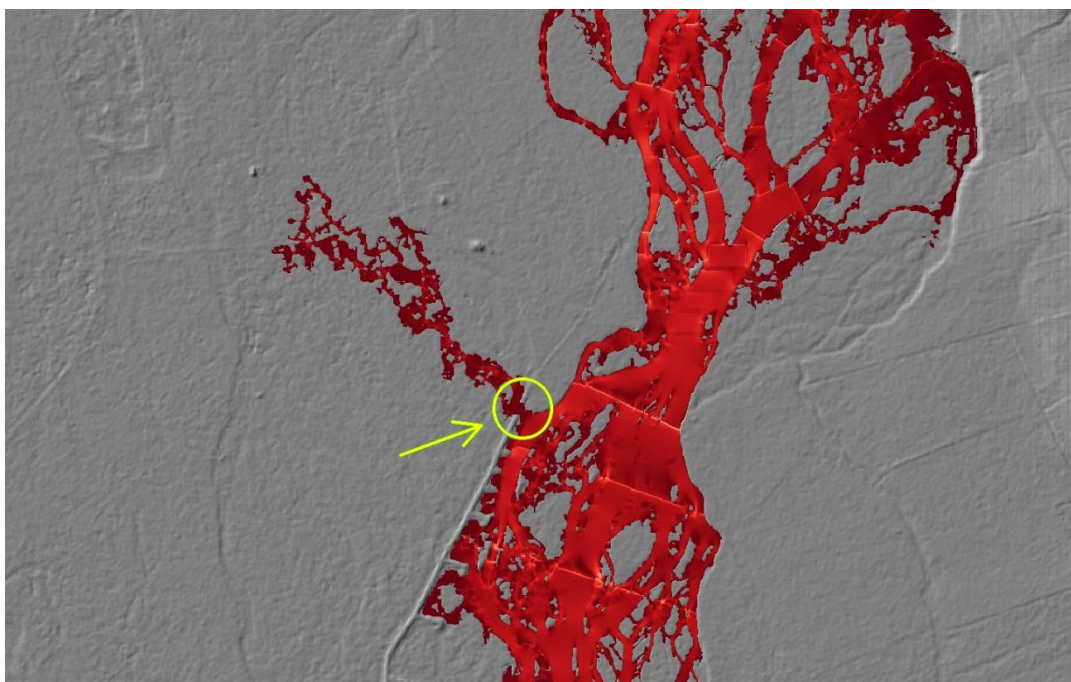
Mynd 36. Lagfæring á varnargarð við Stokkhólma (mynd: Páll Friðriksson, 2021).



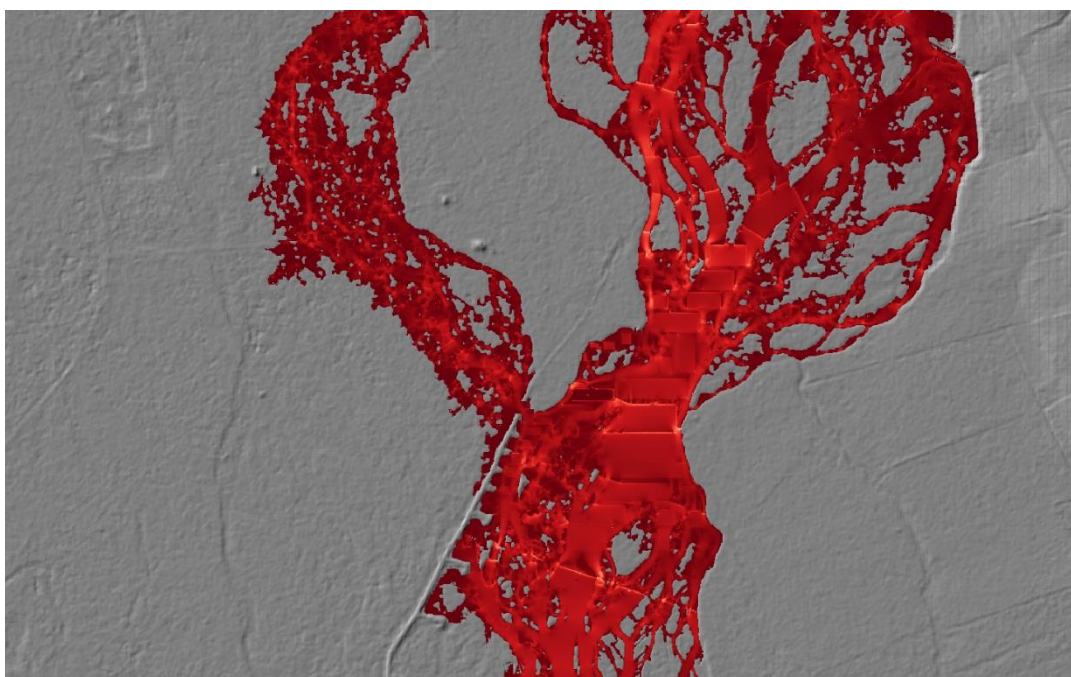
Mynd 37. Flóð í gegnum varnargarð við Stokkhólma (mynd: Páll Friðriksson, 2021).

Mynd 38 sýnir útbreiðslu flóða eftir 7 klst eftir myndun rofs og er þá ástandið mjög svipað og það sem sýnt er á mynd 37. Þó svo að rofin á mynd 37 og 38 séu á sama stað er líklegt að bæði dýpi og breidd séu mismunandi fyrir þessi tvö tilfelli. Best hefði verið ef uppsetning hermana á mynd 38 hefði getað stuðst við mældu breidd og dýpi rofs frá raunverulegu ástandi á mynd 37.

Eins og mynd 39 sýnir er útbreiðsla flóðs á tíma 14 klst. orðin töluvert meiri en á mynd 37. Þetta gefur til kynna að rofið á myndum 38 og 39 sé eitthvað stærra en í raun á mynd 37. Athuga ber að rennsli frá upptakasvæði flóða er hér $50 \text{ m}^3/\text{s}$ og ekki $25 \text{ m}^3/\text{s}$. Þannig hefði verið betra að hafa einnig mælt rennslisgildi frá upptakasvæði **D** (mynd 32) þegar rof átti sér stað á mynd 37.



Mynd 38. Flóð yfir skemmdan varnargarð sunnan við Stokkhólma, eftir 7 klst rof.



Mynd 39. Flóð yfir skemmdan varnargarð framan við Stokkhólma, eftir 14 klst. frá rofi.

I.5 Samantekt

1. Hermun ísstífluflóða hefur reynst erfitt verkefni, sérstaklega vegna næmni slíkra reikninga á annarsvegar nákvæmlega réttu ástandi landlíkans og hinsvegar á upplýsingar um botn farvega, nokkuð sem yfirleitt vantar. Því eru engin hættumatskort gefin út tengd niðurstöðu ísstífluhermana.
2. Almennt sýna hermanir minni útbreiðslu flóða en búist var við samkvæmt lýsingum af aðstæðum þegar ísstíflur hafa átt sér stað.

3. Það sem gæti einnig átt þátt í að trufla ofangreinda reikninga, eru smá gallar og óvissa í landlíkaninu. Breytingar, frá því ástandi sem landlíkanið byggir á, á varnargörðum og önnur landmótun sem fylgir almennri landnotkun, geta einnig haft áhrif.
- a. Ofangreind nákvæmni er mikilvæg fyrir lítið- og meðalrennsli ($< 100 \text{ m}^3/\text{s}$).
 - b. Fyrir stærri flóð eins og fjallað er um í kafla 4, þar sem hámarksrennsli nær allt að $1700 \text{ m}^3/\text{s}$, þá hafa þessir þættir hverfandi áhrif.
 - c. Í viðauka I.4.2 er þessi punktur ítrekaður með dæmi um mikil áhrif smávægilegra breytinga á landlíkani við varnargarð, fyrir lítið rennsli.

Viðauki II – Hætta, tjónmætti, tjónnæmi og áhætta

Hér er stuttlega gerð grein fyrir hugtökunum *hætta*, *tjónmætti*, *tjónnæmi* og *áhætta*. Nánari umfjöllun um þessi hugtök og önnur sem notuð eru í þessu samhengi má sjá í kafla 1.2 í skýrslunni „*Tillögur að áhættuviðmiðum fyrir vatnsflóð*“ (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2022).

II.1 Aðrar skilgreiningar

Athuga ber að aðrar skilgreiningar á ofangreindum hugtökum eru einnig til. Til dæmis hefur hugtakið „áhætta“ víðari merkingu hjá Almannavörnum. Hugtökin sem hér er lýst miðast við skilgreiningar í ofanefndri skýrslu (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2022).

II.2 Tjónmætti og hætta

Tjónmætti (e. *damage potential*) flóða má kortleggja með því að taka saman upplýsingar um dýpi og straumhraða (t.d. úr straumfræðilegu líkani). Einnig er hægt að taka tillit til annarra þátta líkt og vatnshita og magns lausagryjts og annars efnis sem getur borist fram með flóði. Hægt er að nálga tjónmættið með vd fyrir hægt vaxandi flóð sem aðallega ógna mannvirkjum og stuðlinum *hr* (e. hazard rating) fyrir hraðvaxandi flóð sem geta ógnað fólki (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2022). Þ.e.

$$\text{Tjónmætti} \approx vd_{\max} \quad (\text{fyrir hægvaxandi flóð}) \quad (\text{A.1})$$

$$\text{Tjónmætti} \approx hr_{\max} \quad (\text{fyrir hraðvaxandi flóð}) \quad (\text{A.2})$$

Sjá umfjöllun um $vd_{\max}$ í kafla 3.2.2.

Líkur á sviðsmynd: Ef tiltekin sviðsmynd gildir fyrir flóð með 100 ára endurkomutíma er átt við að 1% líkur séu á því að flóð af þeirri stærð eða stærra verði á tilteknu ári. Yfir 100 ára tímabil getur þó hent að flóð af þeirri stærð verði aldrei, einu sinni eða oftar. Sjá skilgreininguna á endurkomutíma í kafla 1.2. í ofanefndri skýrslu (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2022).

Hætta (e. *hazard*) = Ógnandi atburður. Líkur þess að náttúruhamfarir eða atburður sem getur valdið tjóni eigi sér stað innan tiltekins tíma og á tilteknu svæði. Mat á líkum og tjónmætti eru leiðir til að magntaka hættu.

II.3 Tjónnæmi

Tjónnæmi (e. *vulnerability*) = Tjónhlutfall (mælt í prósentum, frá 0 til 100%) sem yrði ef náttúruhamfarir eða atburður sem getur valdið tjóni eiga sér stað.

$$\text{Tjónnæmi} \in [0, 1] \quad (\text{A.3})$$

Tjónnæmi gagnvart flóðum má skipta upp í tvo þætti:

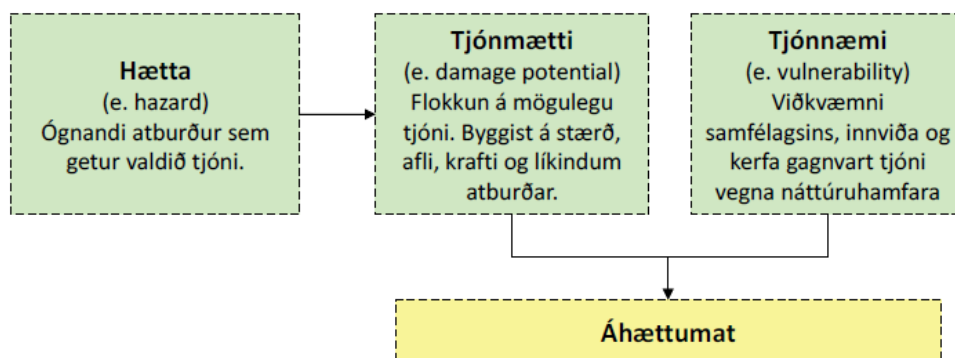
- Tjónnæmi svæðis (e. *area vulnerability*) byggist á stigagiðf fyrir þrjá þætti; i) viðvörunarkerfi, ii) rishraða, og iii) svæðisbundna eiginleika.
- Tjónnæmi fólks (e. *people vulnerability*) er metið út frá mati á hlutfalli fólks á svæðinu sem gæti átt í vandræðum með að forða sér.

II.4 Áhætta

Áhætta (e. *risk*) er háð Tjónnæmi og Tjónmætti. Hugtakið nær yfir það tjón sem ákveðin ógn veldur á ákveðnu svæði yfir ákveðið viðmiðunartímabil. Sé áhætta sett fram á stærðfræðilegan

hátt er hún reiknuð sem fall af hættu (að teknu tilliti til tjónmættis) annars vegar og tjónnæmi (að teknu tilliti til verðmæta og viðveru) hins vegar.

$$\text{Áhætta} = f(\text{Tjónnæmi}, \text{Tjónmætti}) \quad (\text{A.4})$$



Mynd er sett saman af Trausta Jónssyni (2002).

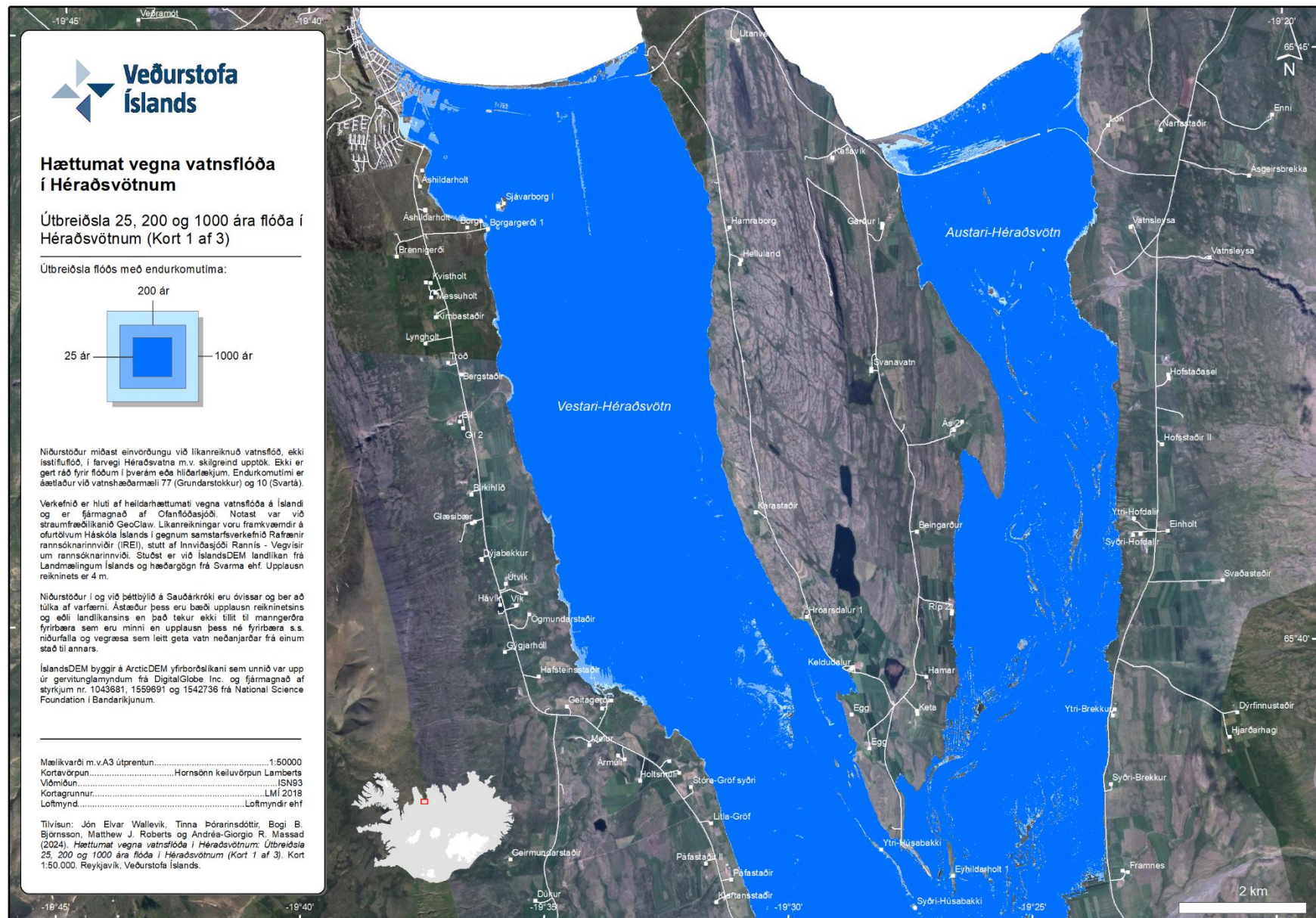
Viðauki III. Fullbúin kort – Héraðsvötn, sjávarhæð við sjávarmál

Í þessum viðauka má finna ítarlegri niðurstöður hættumats vegna vatnsflóða fyrir Héraðsvötn, þar sem gert er ráð fyrir að sjávarhæð sé við sjávarmál (sjá einnig kafla 3.4, mynd 10a og kafla 4.1.1).

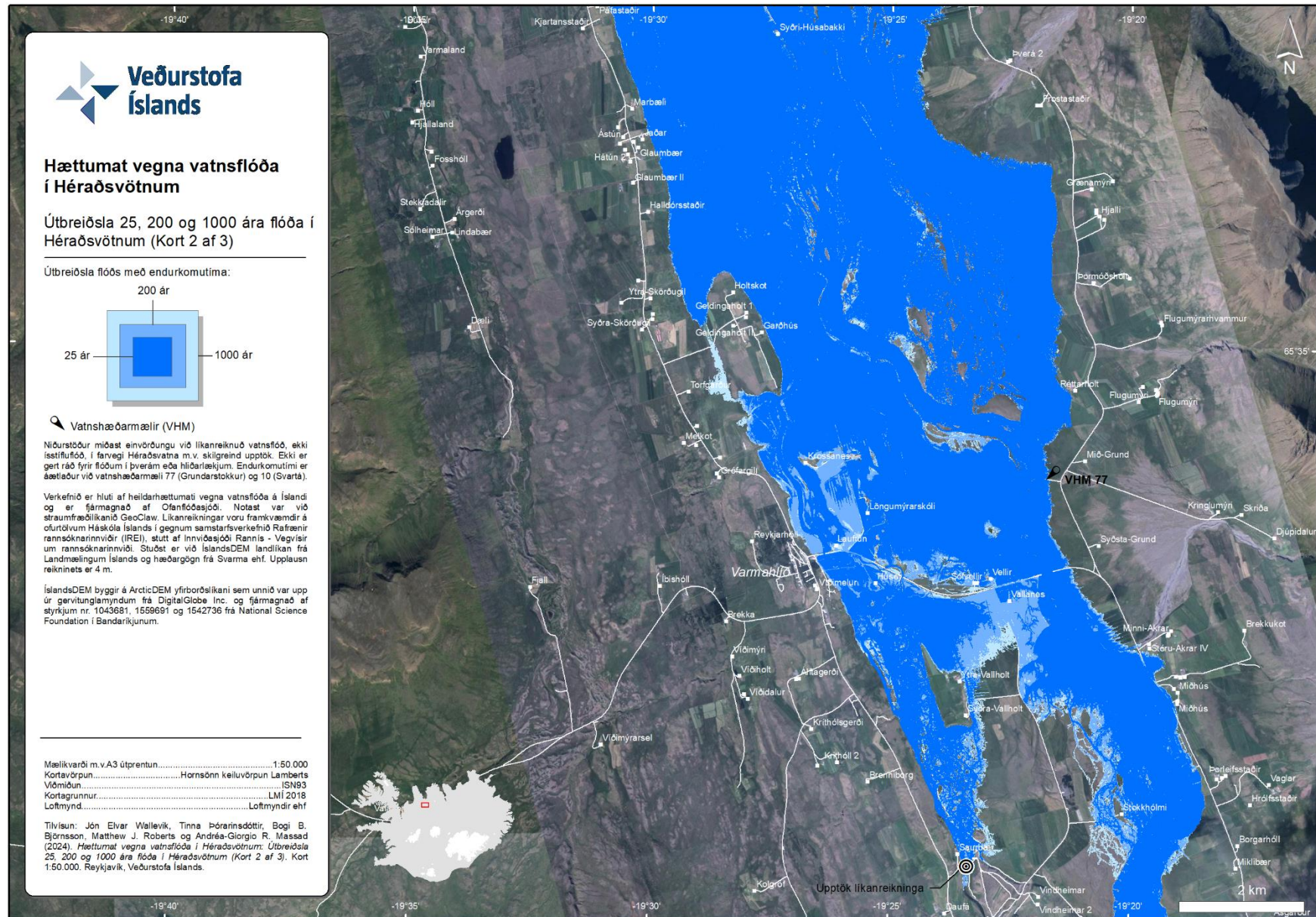
Hér eru kort sem sýna bæði útbreiðslu og tjónmætti fyrir mismunandi endurkomutíma. Í öllum tilfellum hefur kortum verið skipt upp í smærri svæði til að sýna niðurstöður í hærri upplausn en í þeim tilfellum eru kortin merkt með númerum sem hækka frá ósum til upptaka, t.d. kort 1 af 3.

Líkanreikningar verkefnisins sýna einungis niðurstöður af völdum flóðs í Héraðsvötnunum sjálfum, en ekki innan lækja og þveráa sem í þau falla. Í sumum tilfellum má sjá hvar flóðvatn leitar eitthvað upp í þverár og læki en þeim niðurstöðum ber að taka með fyrirvara. Athuga ber einnig að innan bæjarmarka Sauðárkróks og við flugvöllinn er ekki er tekið tillit til ræsa eða annarra fráveitumannvirkja og ber því að taka niðurstöðum þar með fyrirvara. Sjá kafla 4.4 um óvissuþætti.

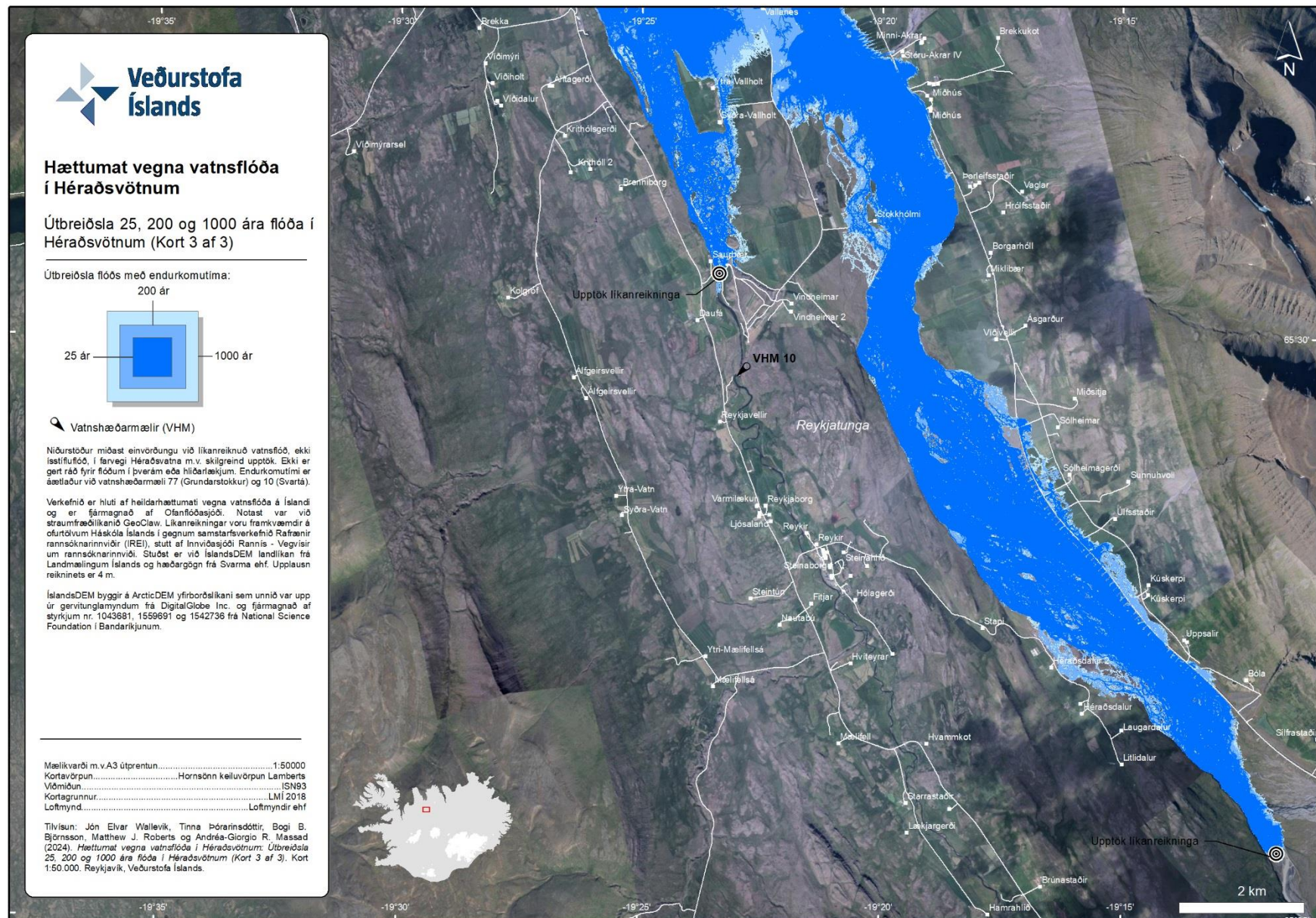
Athuga ber að tjónmætti segir ekkert um afleiðingar eða skemmdir sem verða á eignum, þar sem slíkt er háð tegund og útfærslu á tilteknu mannvirki. Til að mynda má búast við mjög litlu tjóni eða skemmdum á stóru stíflumannvirki í flóði, þó svo það sé staðsett á svæði með miklu tjónmætti. Því er það í verkahring eigenda eða tilsvarandi ábyrgðaraðila að nýta þessar upplýsingar til þess að vinna viðbragðsáætlanir, lagfæringar, uppfærslur o.s.frv. Sjá nánar í kafla 4.1.3.



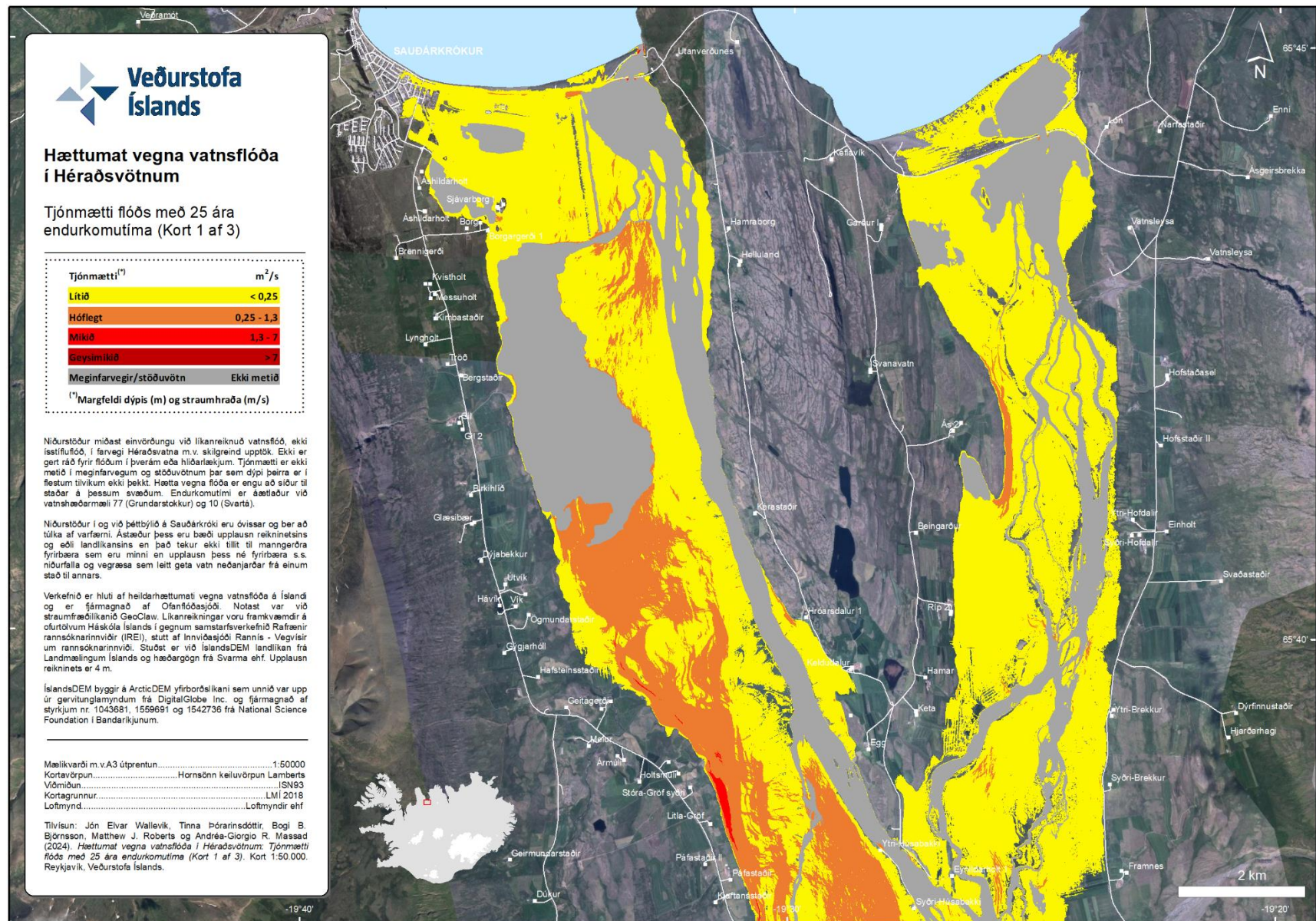
Viðauki III, Kort 1. Útbreiðsla líkanreiknaðra flóða fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma: Kort 1 af 3 – neðra svæði.



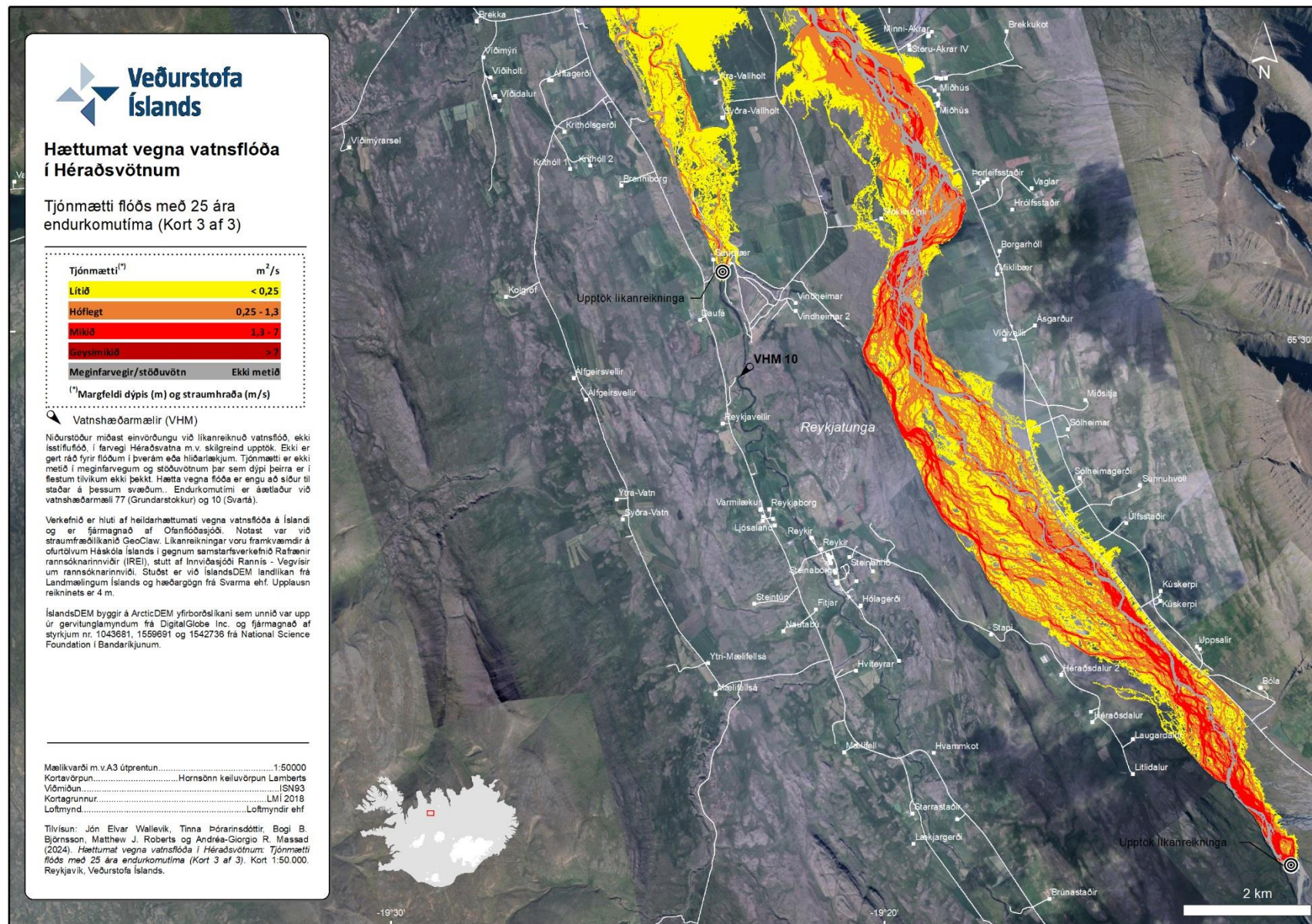
Víðauki III, Kort 2. Útbreiðsla líkanreiknaðra flóða fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma: Kort 2 af 3 – miðsvæði.



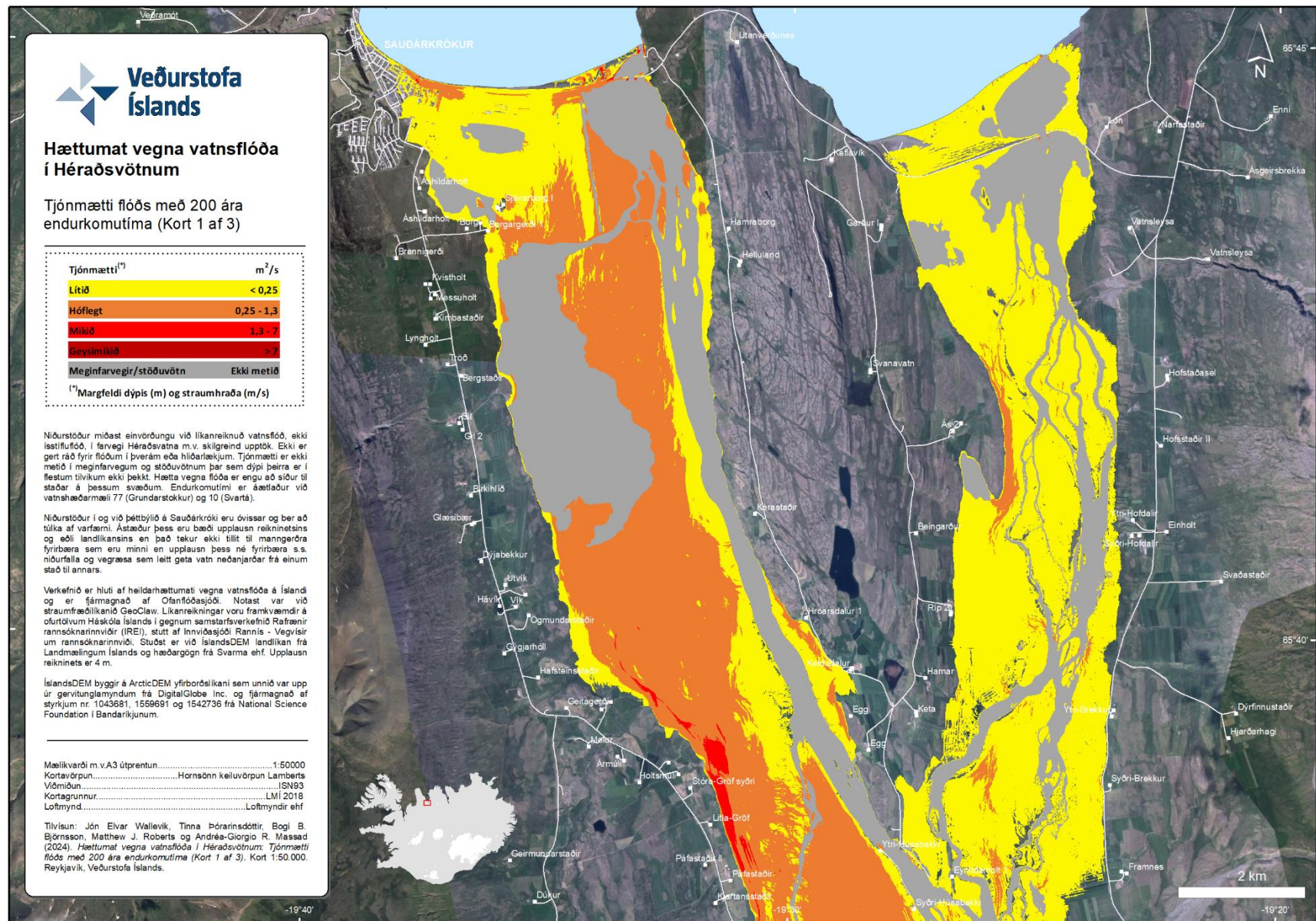
Viðauki III, Kort 3. Útbreiðsla líkanreiknaðra flóða fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma: Kort 3 af 3 – efra svæði.



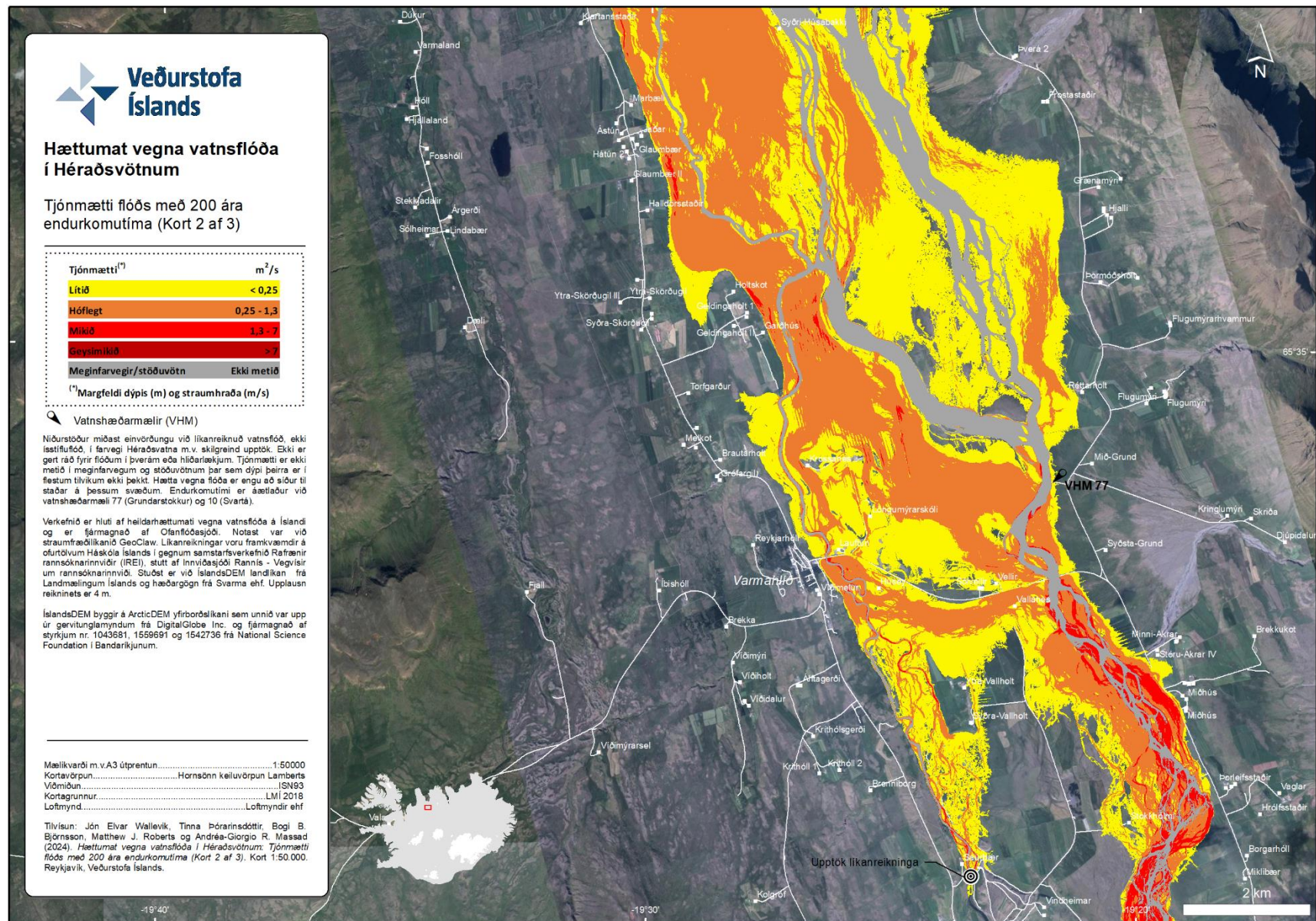
Viðauki III, Kort 4. Tjónmætti flóðs með 25 ára endurkomutíma: Kort 1 af 3 – neðra svæði.



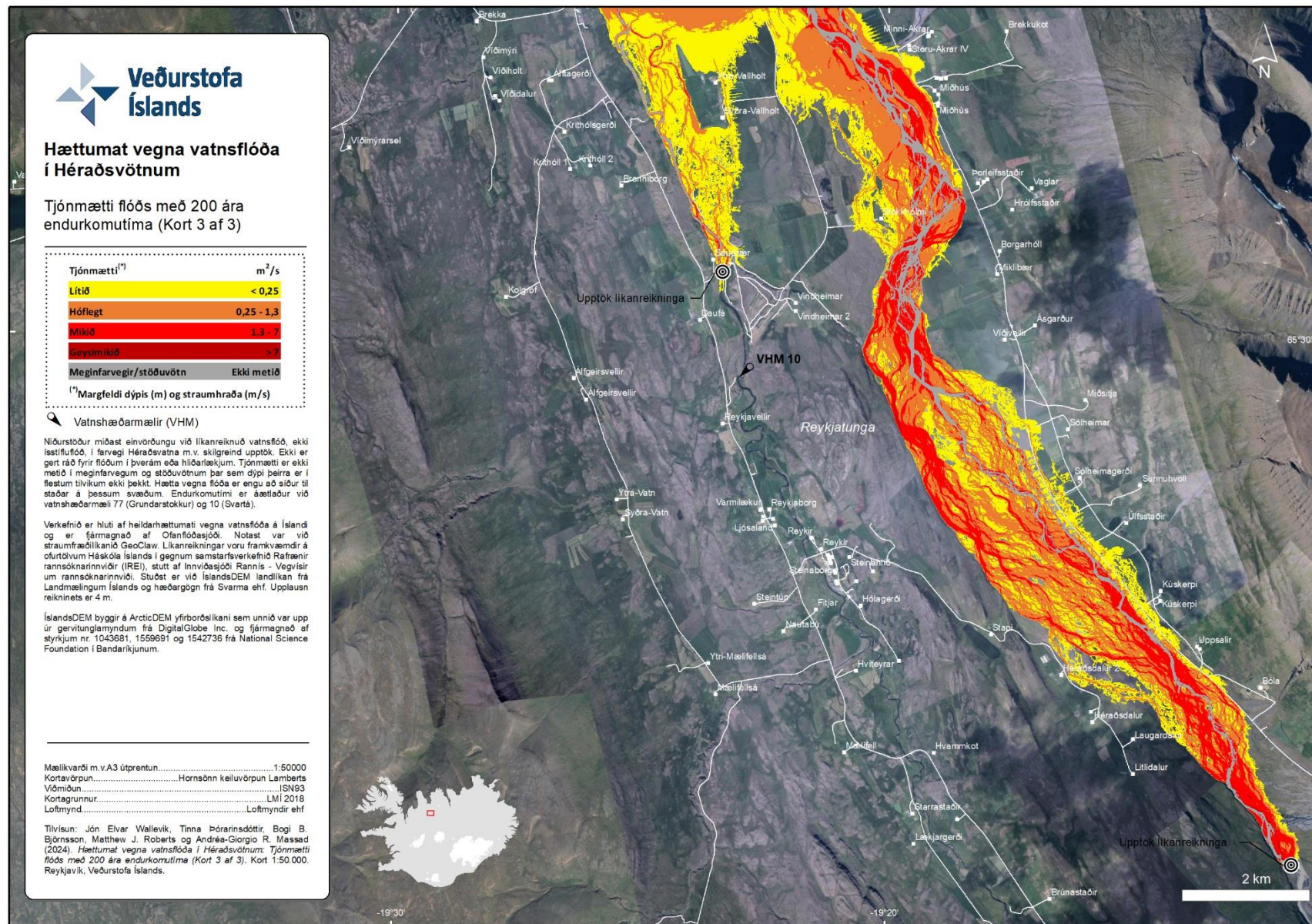
Viðauki III, Kort 6. Tjónmætti flóðs með 25 ára endurkomutíma: Kort 3 af 3 – efra svæði.



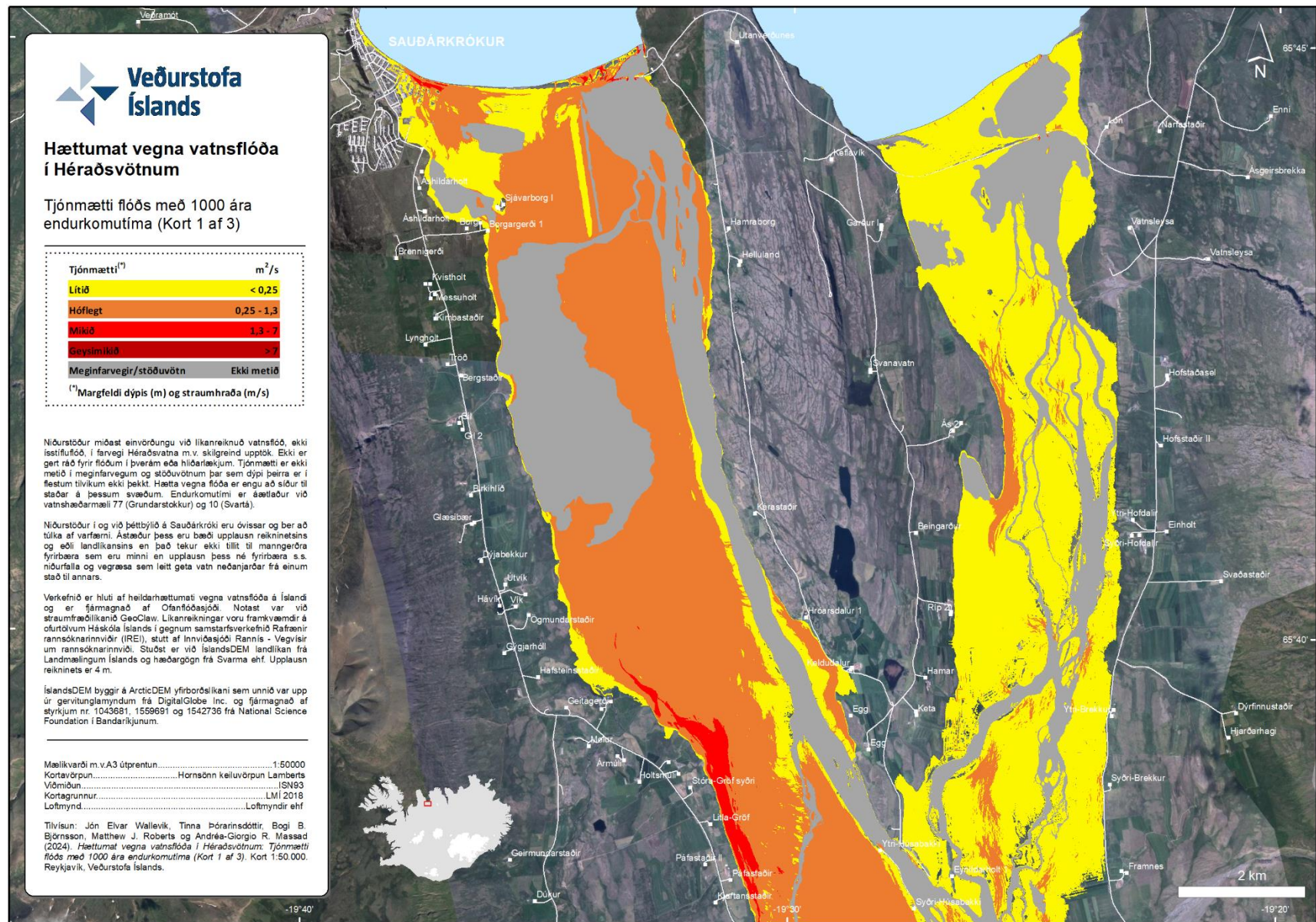
Viðauki III, Kort 7. Tjónmætti flóðs með 200 ára endurkomutíma: Kort 1 af 3 – neðra svæði.



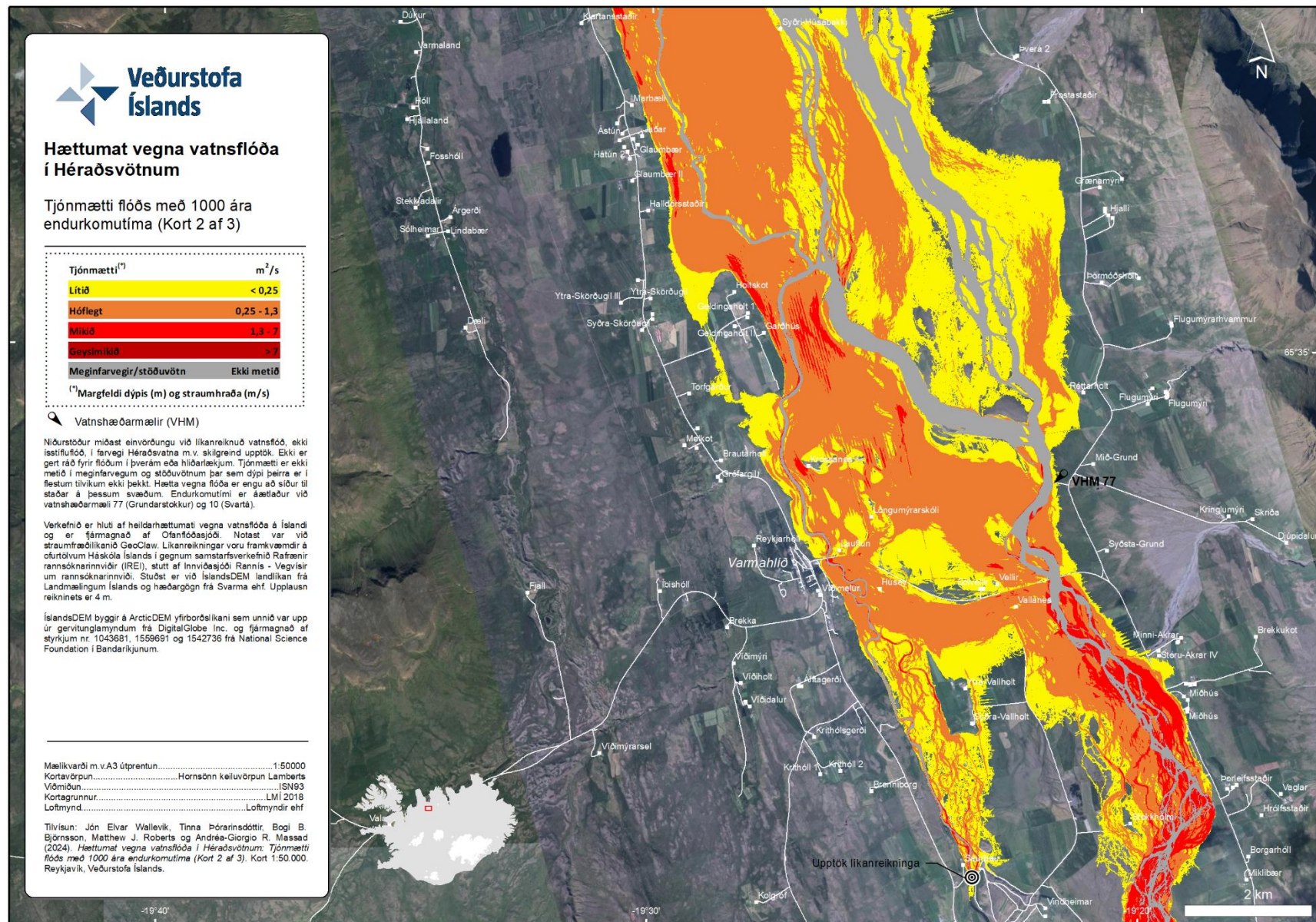
Viðauki III, Kort 8. Tjónmætti flóðs með 200 ára endurkomutíma: Kort 2 af 3 – miðsvæði.



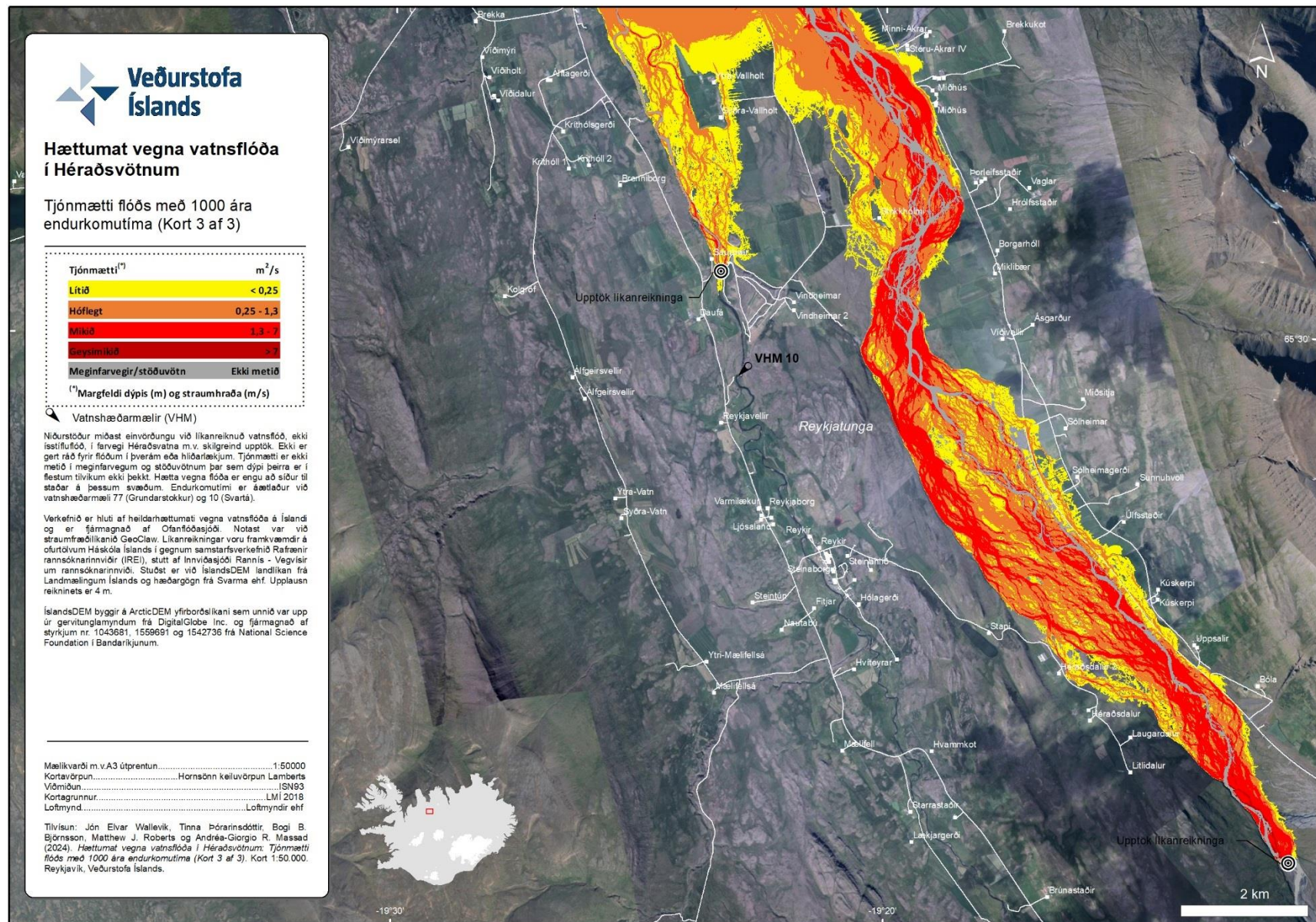
Viðauki III, Kort 9. Tjónmætti flóðs með 200 ára endurkomutíma: Kort 3 af 3 – efra svæði.



Viðauki III, Kort 10. Tjónmætti flóðs með 1000 ára endurkomutíma: Kort 1 af 3 – neðra svæði.



Viðauki III, Kort 11. Tjónmætti flóðs með 1000 ára endurkomutíma: Kort 2 af 3 – miðsvæði.



Viðauki III, Kort 12. Tjónmætti flóðs með 1000 ára endurkomutíma: Kort 3 af 3 – efra svæði.

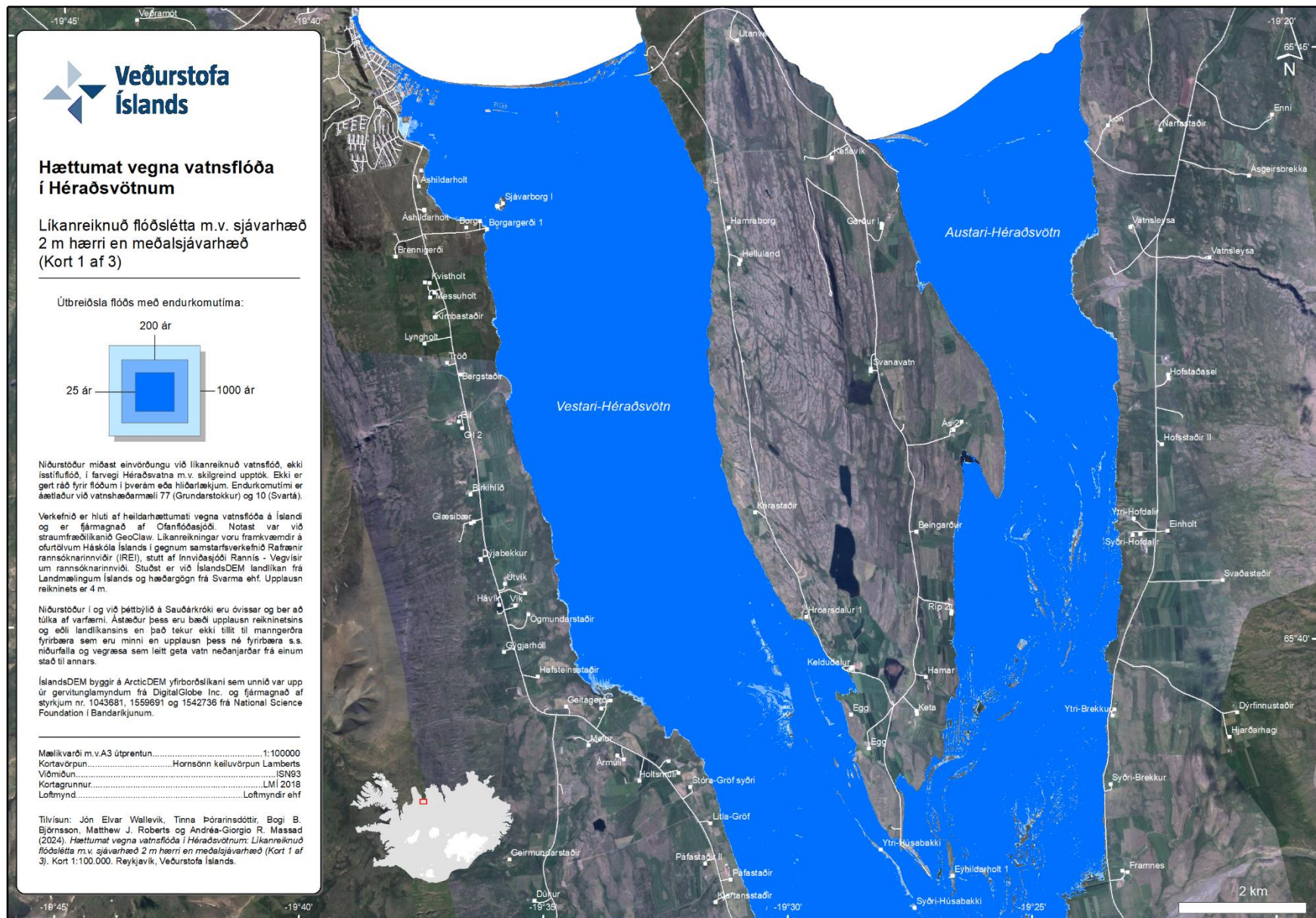
Viðauki IV. Fullbúin kort – Héraðsvötn, samfallandi árflóð og sjávarflóð

Í þessum viðauka má finna ítarlegri niðurstöður hættumats vegna vatnsflóða fyrir Héraðsvötn, við samfallandi árflóð og sjávarflóð (sjá einnig kafla 3.4, mynd 10c og kafla 4.1.2).

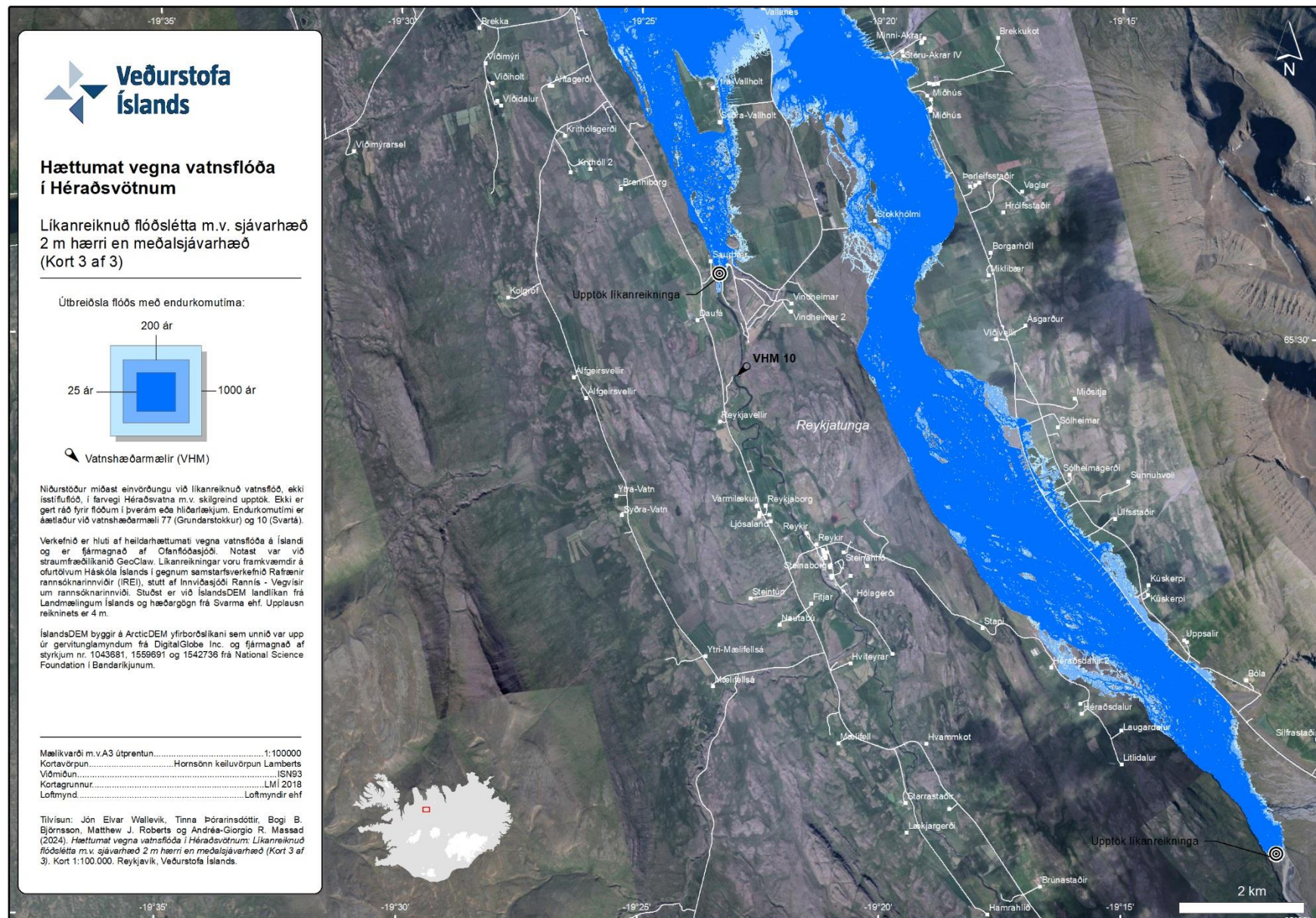
Hér eru kort sem sýna bæði útbreiðslu og tjónmætti fyrir mismunandi endurkomutíma. Í öllum tilfellum hefur kortum verið skipt upp í smærri svæði til að sýna niðurstöður í hærri upplausn en í þeim tilfellum eru kortin merkt með númerum sem hækka frá ósum til upptaka, t.d. kort 1 af 3.

Líkanreikningar verkefnisins sýna einungis niðurstöður af völdum flóðs í Héraðsvötnunum sjálfum, en ekki innan lækja og þveráa sem í þau falla. Í sumum tilfellum má sjá hvar flóðvatn leitar eitthvað upp í þverár og læki en þeim niðurstöðum ber að taka með fyrirvara. Athuga ber einnig að innan bæjarmarka Sauðárkróks og við flugvöllinn er ekki er tekið tillit til ræsa eða annarra fráveitumannvirkja og ber því að taka niðurstöðum þar með fyrirvara. Sjá kafla 4.4 um óvissuþætti.

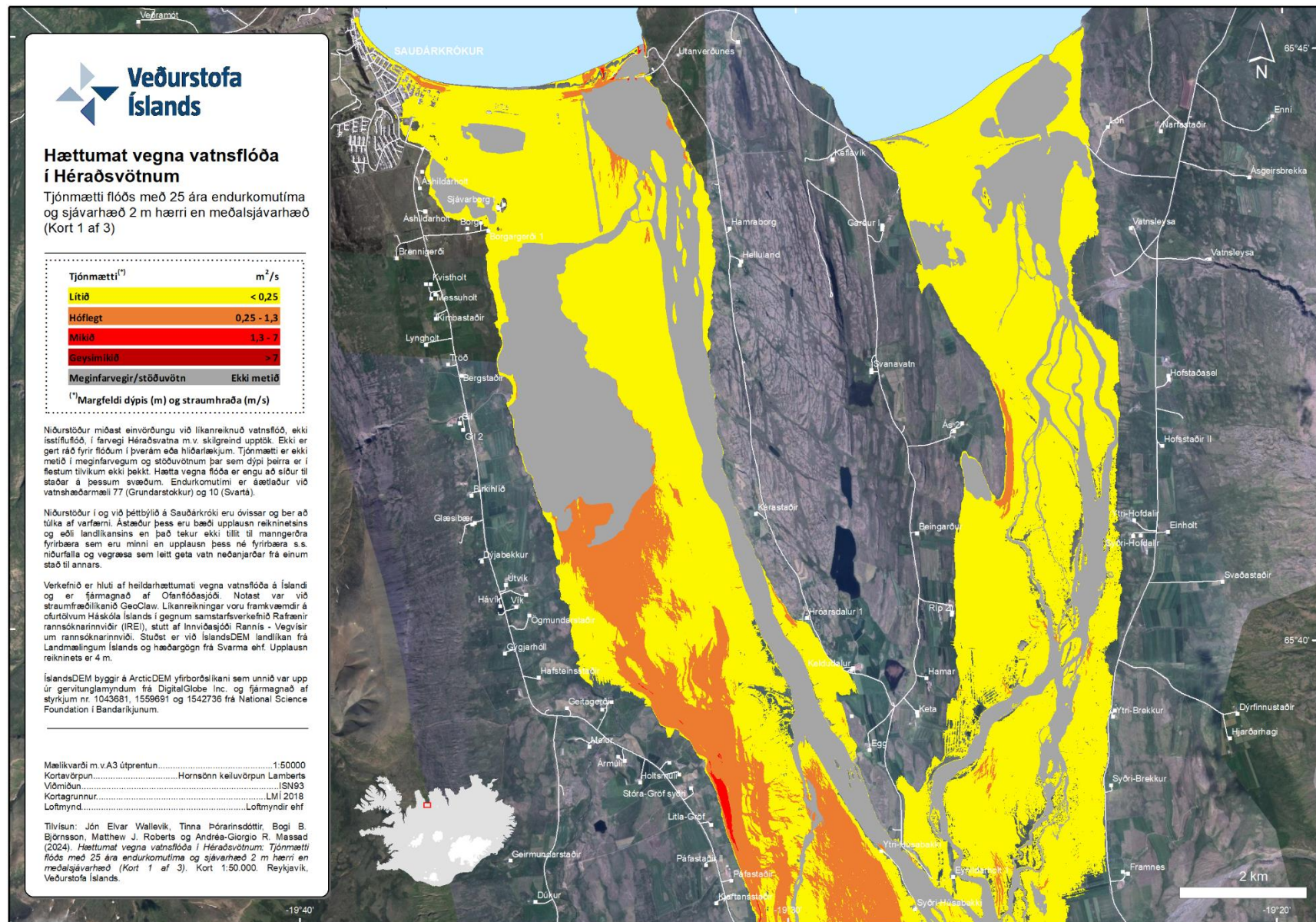
Athuga ber að tjónmætti segir ekkert um afleiðingar eða skemmdir sem verða á eignum, þar sem slíkt er háð tegund og útfærslu á tilteknu mannvirki. Til að mynda má búast við mjög litlu tjóni eða skemmdum á stóru stíflumannvirki í flóði, þó svo það sé staðsett á svæði með miklu tjónmætti. Því er það í verkahring eigenda eða tilsvarandi ábyrgðaraðila að nýta þessar upplýsingar til þess að vinna viðbragðsáætlanir, lagfæringar, uppfærslur o.s.frv. Sjá nánar í kafla 4.1.3.



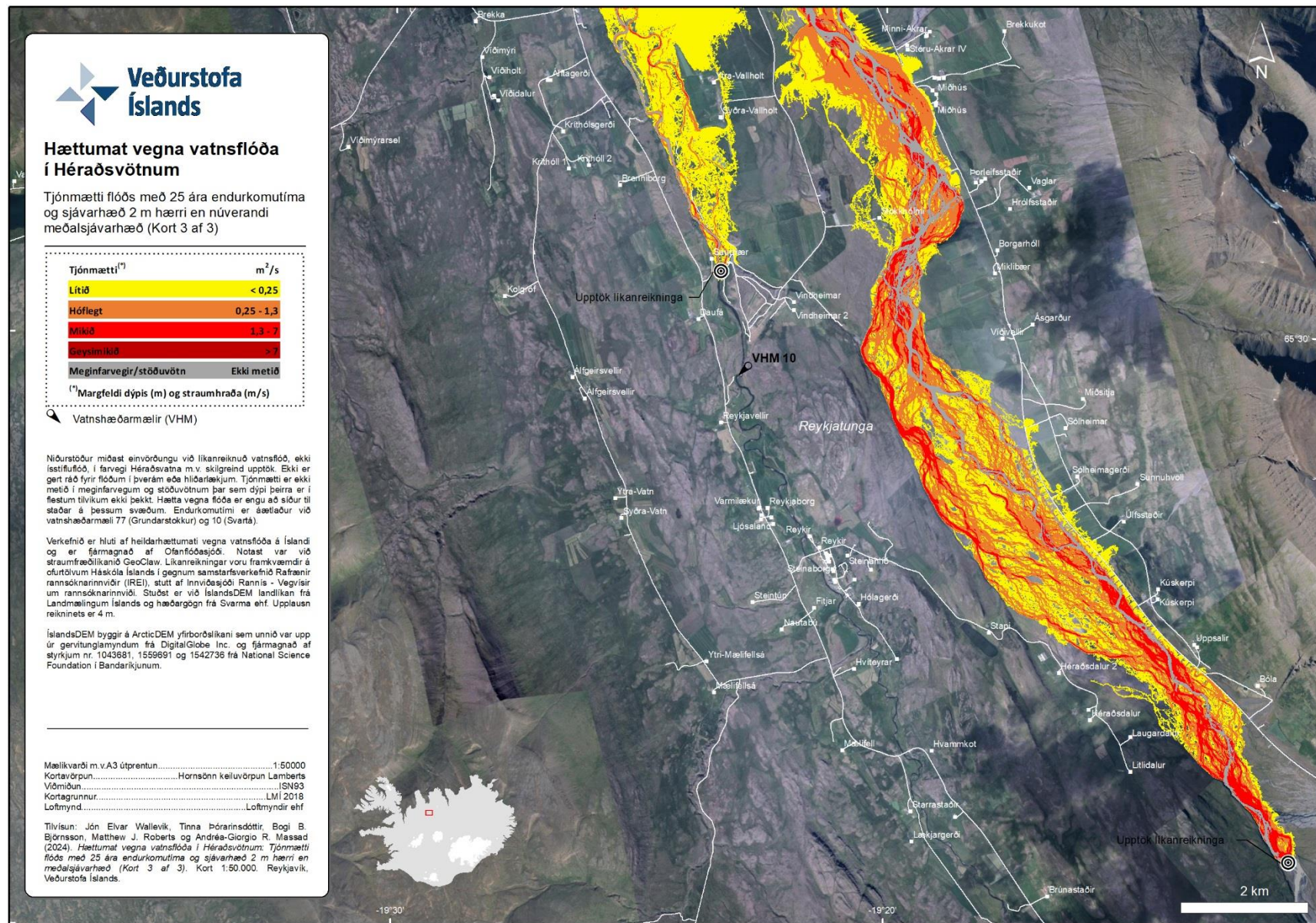
Viðauki IV, Kort 1. Útbreiðsla líkanreiknaðra flóða fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma: Kort 1 af 3 – neðra svæði.



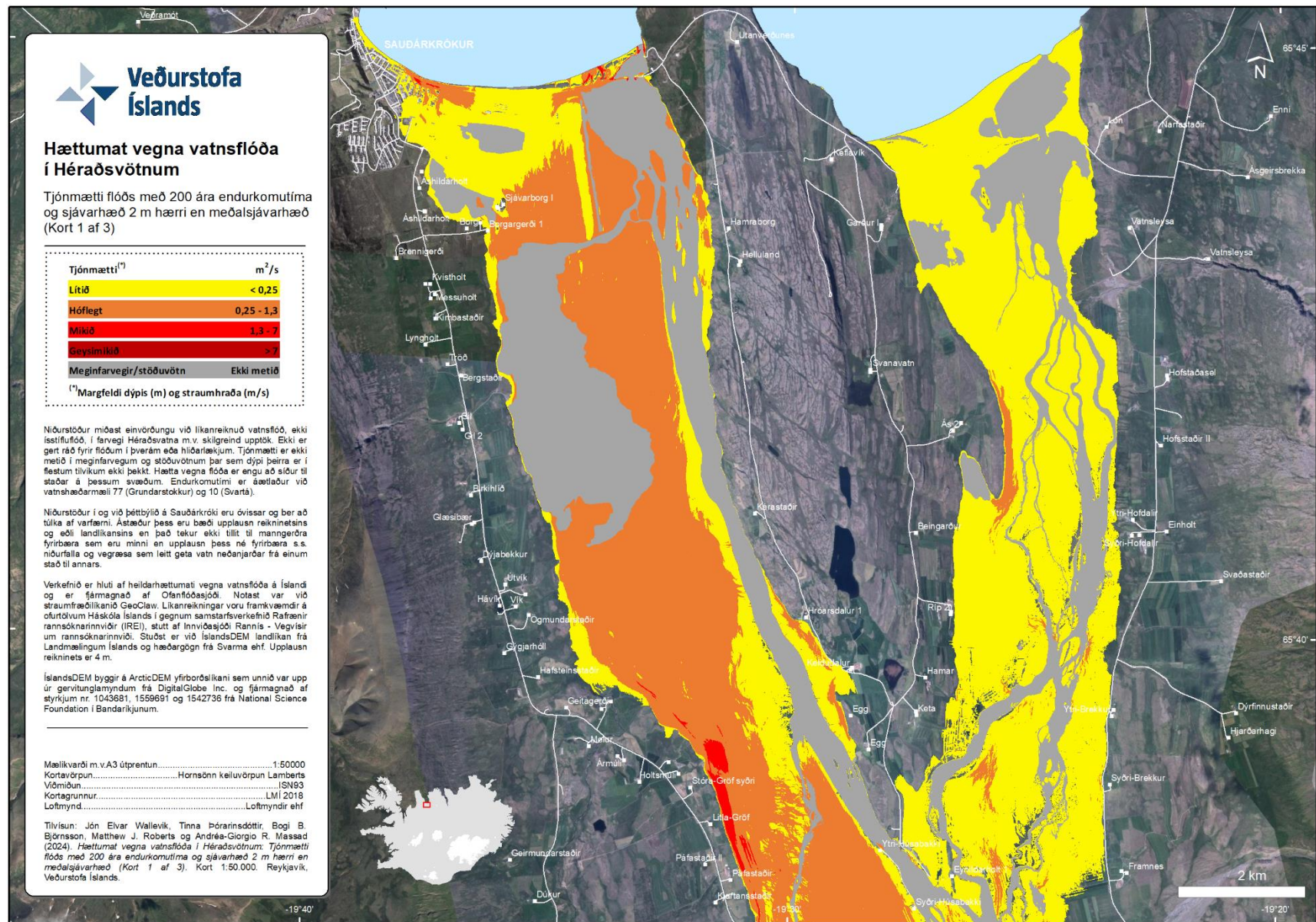
Viðauki IV, Kort 3. Útbreiðsla líkanreiknaðra flóða fyrir 25, 200 og 1000 ára endurkomutíma: Kort 3 af 3 – efra svæði.



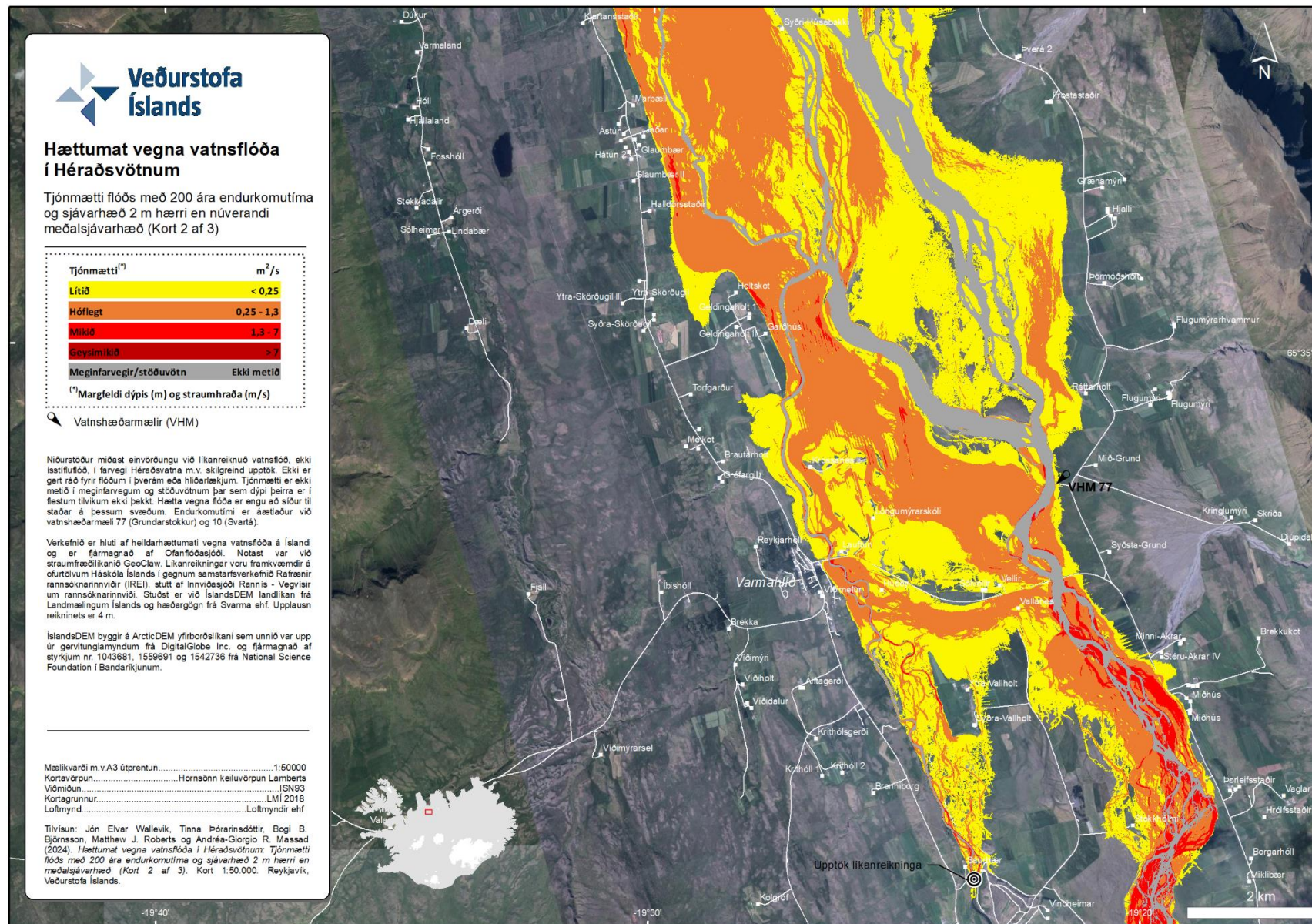
Viðauki IV, Kort 4. Tjónmætti flóðs með 25 ára endurkomutíma: Kort 1 af 3 – neðra svæði.



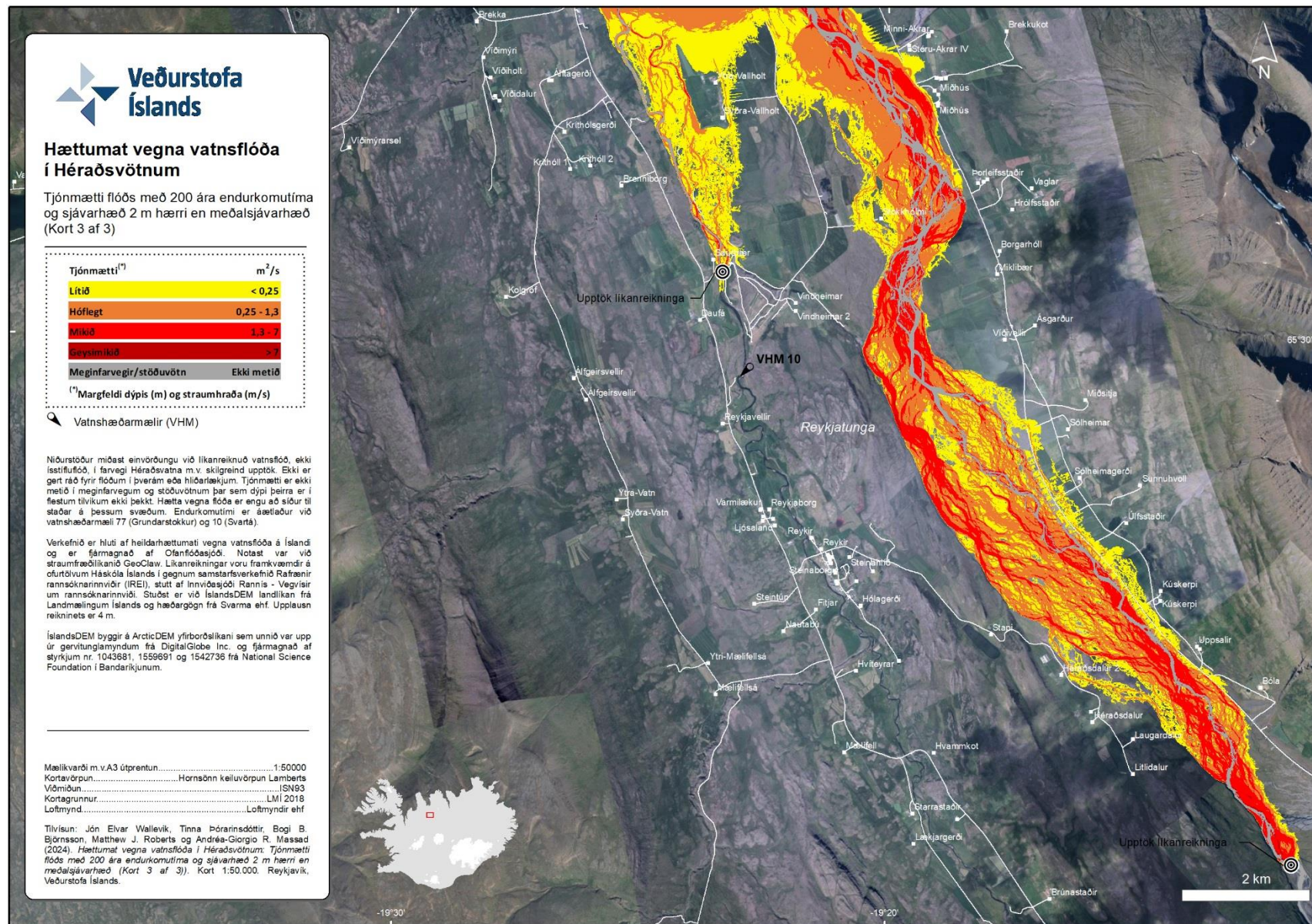
Viðauki IV, Kort 6. Tjónmætti flóðs með 25 ára endurkomutíma: Kort 3 af 3 – efra svæði.

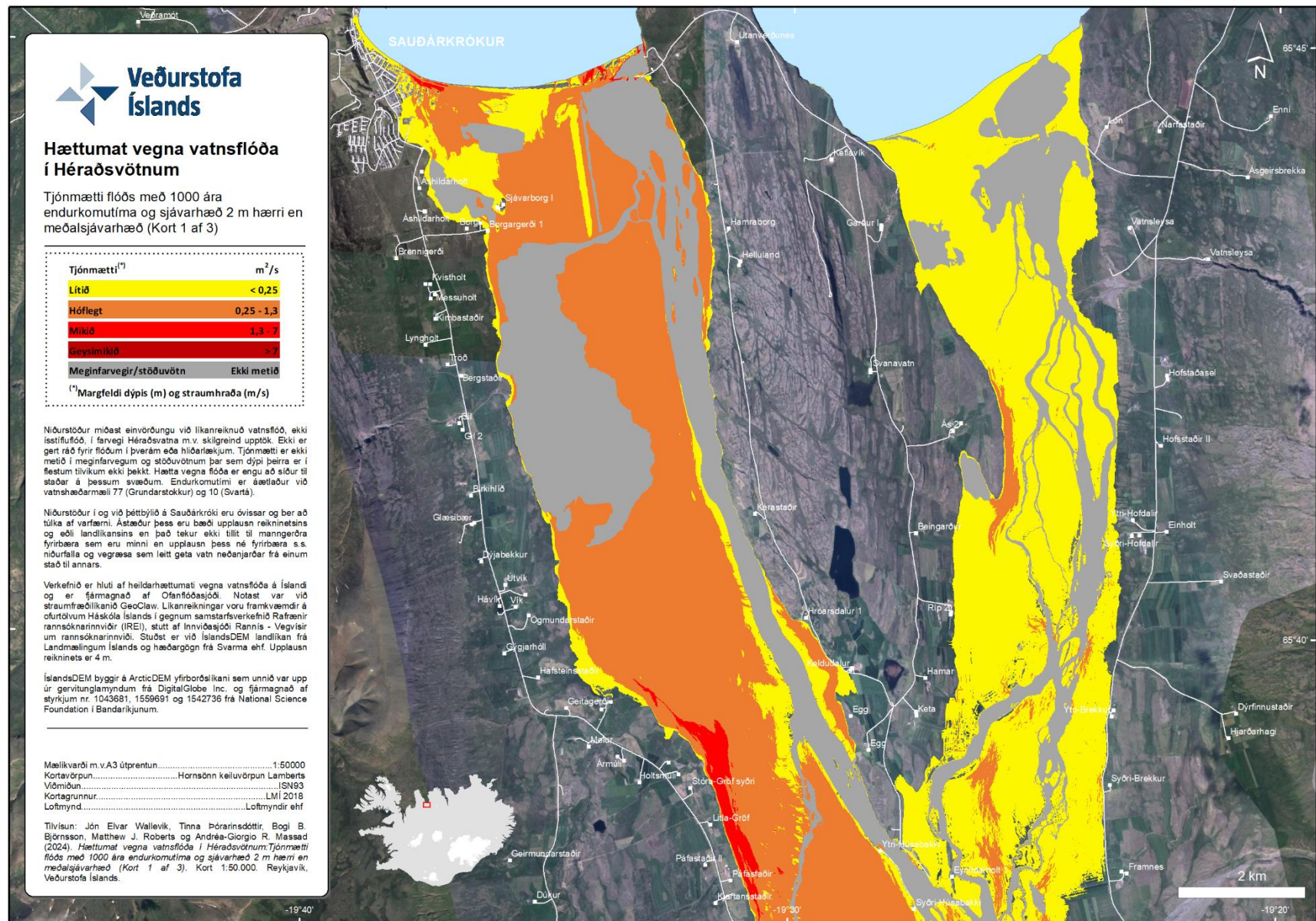


Viðauki IV, Kort 7. Tjónmætti flóðs með 200 ára endurkomutíma: Kort 1 af 3 – neðra svæði.

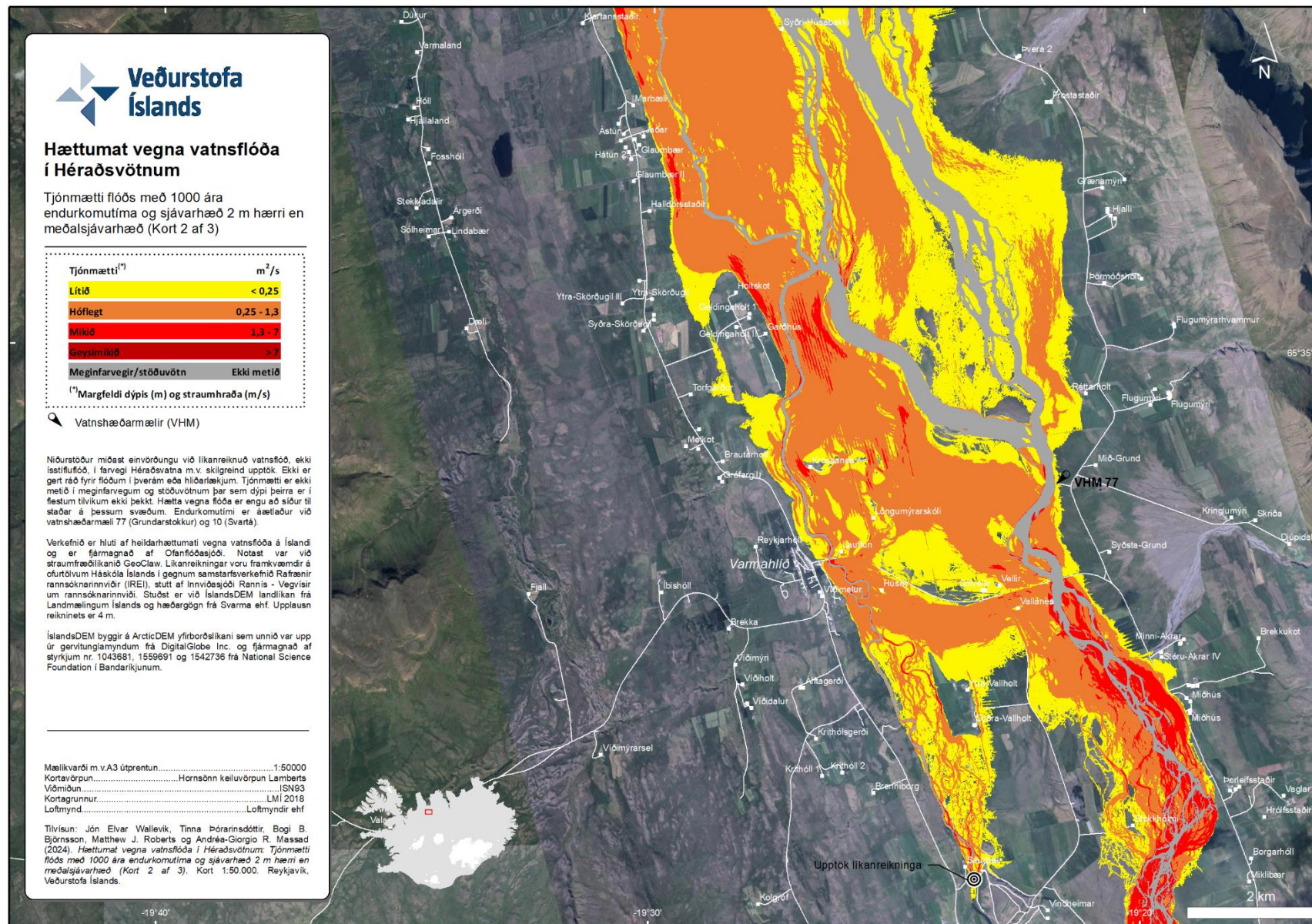


Viðauki IV, Kort 8. Tjónmætti flóðs með 200 ára endurkomutíma: Kort 2 af 3 – miðsvæði.

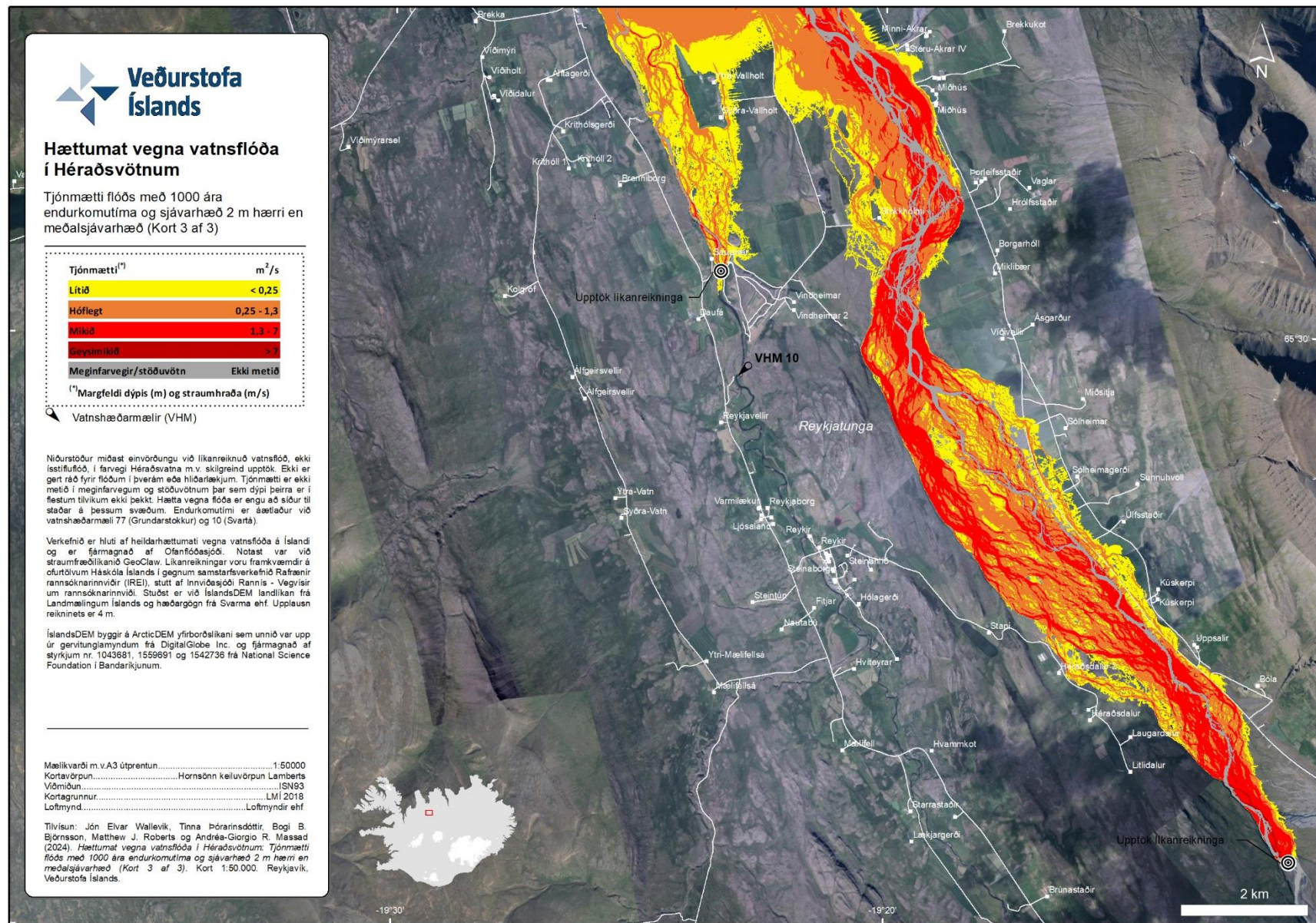




Viðauki IV, Kort 10. Tjónmætti flóðs með 1000 ára endurkomutíma: Kort 1 af 3 – neðra svæði.



Viðauki IV, Kort 11. Tjónmætti flóðs með 1000 ára endurkomutíma: Kort 2 af 3 – miðsvæði.



Viðauki IV, Kort 12. Tjónmætti flóðs með 1000 ára endurkomutíma: Kort 3 af 3 – efra svæði.

