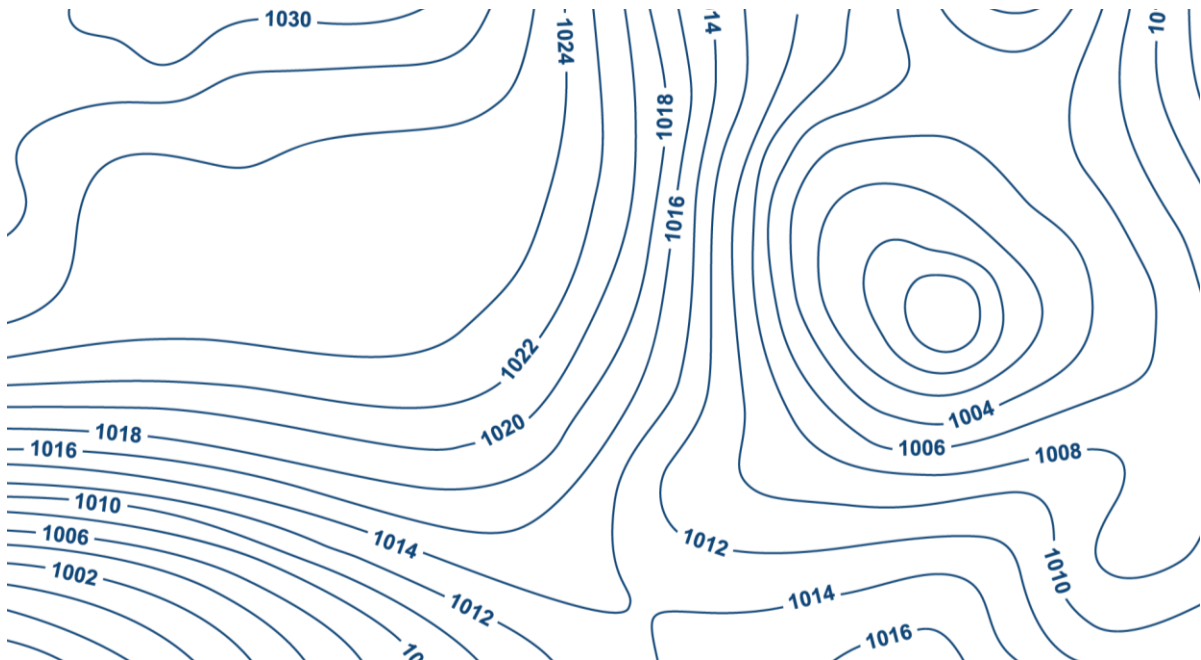


Mat á sjávarstöðuhækkun og útbreiðslu óveðursflóða

Guðrún Elín Jóhannsdóttir
Halldór Björnsson
Guðfinna Aðalgeirsdóttir
Berglind Pétursdóttir
Ragnar Heiðar Prastarson



Skýrsla

VÍ 2025-012

Mat á sjávarstöðuhækkun og útbreiðslu óveðursflóða

Höfundar	Guðrún Elín Jóhannsdóttir, Halldór Björnsson, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Berglind Pétursdóttir og Ragnar Heiðar Þrastarson
Unnið fyrir	Ofanflóðasjóð
Samvinnuaðilar	Háskóli Íslands
Gerð skýrslu/verkstig	Skýrsla
Verkefnisstjóri	Halldór Björnsson
Yfirfarið af	Tinnu Þórarinsdóttur
Samþykkt af	Tinnu Þórarinsdóttur, deildarstjóra

Veðurstofa Íslands / Icelandic Meteorological Office

Númer	VÍ 2025-012
ISSN	1670-8261
Dagsetning	desember 2025
Dreifing	Opin
Fjöldi síðna	31
Upplag	Rafræn útgáfa
Verknúmer	4761-0-0003
Málsnúmer	2019-0172

Ágrip

Í þessari skýrslu eru kynnt uppfærð hættukort fyrir óveðursflóð við byggðarkjarna við strönd Íslands, byggð á skýrslunni *Mat á endurkomutíma óveðursflóða reiknað með Delft3D-FM* frá árinu 2022 (Halldór Björnsson o.fl., 2022). Í þeirri skýrslu var einungis fjallað um núverandi aðstæður, en hér eru sviðsmyndir um loftslagsbreytingar einnig notaðar til að skoða mögulegar sjávarstöðubreytingar og breytingar á útbreiðslu óveðursflóða.

Þá skoðar þessi skýrsla breiðara líkindabil óveðursflóða. Flóðakortin byggja á reiknilíkönnum sem ná yfir tímabilið 1980–2017 og sýna niðurstöður fyrir 20 ára (5% árslíkur), 50 ára (2% árslíkur) og 200 ára (0,5% árslíkur) endurkomutíma. Útreikningar eru gerðir fyrir þrjá tímapunkta: núverandi aðstæður, árið 2100 og árið 2150. Tvær sviðsmyndir um losun gróðurhúsalofttegunda (SSP5-8.5 og SSP5-8.5LC) eru notaðar til að meta framtíðarhækkun sjávarborðs og áhrif hennar á útbreiðslu flóða.

Fyrir hvern byggðarkjarna við ströndina voru gerð a.m.k. 15 mismunandi flóðakort, og með landshlutakortum voru samtals gerð yfir 1700 kort. Kortin eru birt í fylgiskjöllum skýrslunnar og einnig á Loftslagsatlas Íslands (Veðurstofa Íslands, 2025). Í skýrslunni er fjallað um aðferðafræði, sýnd dæmi um kort og veittar leiðbeiningar um túlkun niðurstaðna.

Lykilorð: Óveðursflóð, sjávarstöðubreytingar, sviðsmyndir

Abstract

This report presents updated flood hazard maps for coastal settlements in Iceland, building upon the 2022 report *Mat á endurkomutíma óveðursflóða reiknað með Delft3D-FM* (Halldór Björnsson o.fl., 2022). While the earlier report focused on current conditions, this new analysis incorporates projected sea level rise scenarios published in the 2023 Icelandic Climate Change Impact Assessment report (Halldór Björnsson o.fl., 2023), and based on the IPCC (2021) report.

The updated flood maps are based on model simulations covering the period 1980–2017 and include return periods of 20 years (5% annual probability), 50 years (2% annual probability), and 200 years (0.5% annual probability). These are calculated for three points in time: present day, the year 2100, and the year 2150. Two greenhouse gas emission scenarios (SSP5-8.5 and SSP5-8.5LC) are used to estimate future sea level rise and its impact on flood extent.

For each coastal settlement, at least 15 different flood maps were generated, resulting in more than 1,700 maps in total. These maps are published in the supporting documentation to this report and the Iceland Climate Change Atlas (Veðurstofa Íslands, 2025). This report discusses the methodology, provides map examples, and offers guidance on interpreting the results.

Key words: Coastal floods, sea level rise, scenarios

Samantekt

Í þessari skýrslu eru kynntir útreikningar á 20-, 50- og 200 ára endurkomuhæð sjávarflóða (flóðum með 5%, 2% og 0,5% árslíkur) umhverfis Ísland. Endurkomuhæðirnar eru reiknaðar bæði fyrir núverandi aðstæður og fyrir árin 2100 og 2150 miðað við tvær sviðsmyndir um losun gróðurhúsalofttegunda. Markmið verkefnisins er að fá yfirsýn yfir sjávarflóðahættu á Íslandi og hvernig hún gæti þróast til framtíðar. Til þess að finna lágsvæði þar sem sjávarflóðahætta gæti verið til staðar var landhæðarlíkan borið saman við endurkomuhæðir sjávarflóðanna og þau landsvæði sem liggja lægra en sjávarhæðin kortlögð.

Þær sviðsmyndir um losun gróðurhúsalofttegunda sem notaðar voru til framtíðarútreikninga eru SSP5-8.5 og SSP5-8.5LC. Fyrir nefnda sviðsmyndin er ítrasta losunarsviðsmynd IPCC, en í þeirri síðari er að auki gert ráð fyrir verulega auknu massatapi frá ísbreiðum Suðurskautslandsins og Grænlands. Óvissan sem fylgir framtíðarsviðsmyndunum er mikil, sérstaklega fyrir hamfarasviðsmyndina SSP5-8.5LC, og það ber að hafa í huga þegar niðurstöður verkefnisins eru skoðaðar.

Þegar lágsvæði þar sem sjávarflóðahætta getur orðið til staðar í framtíðinni voru kortlögð, var reiknað með að landhæðarbreytingar til framtíðar yrðu með sama hraða og verið hefur undanfarin ár. Landhæðarbreytingarnar voru lagðar við landhæðarlíkan fyrir núverandi aðstæður og þær niðurstöður bornar saman við endurkomuhæðir sjávarflóða fyrir ofangreindar sviðsmyndir.

Eftir að reiknaðir höfðu verið flóðaútbreiðsluflákar fyrir alla endurkomutíma, tímapunkta og sviðsmyndir voru útbúin kort af öllum niðurstöðum fyrir alla byggðarkjarna landsins við ströndina, eða a.m.k. 15 kort af hverjum stað, auk yfirlitskorta. Í heildina voru útbúin yfir 1700 kort. Niðurstöður verkefnisins má skoða og sækja á Loftslagsatlas Íslands (Veðurstofa Íslands, 2025). Að auki eru öll kortin birt í fylgiskjöllum skýrslunnar.

Þegar kortin eru túlkuð er mikilvægt að hafa í huga að þetta verkefni snýr að því að gera yfirlit um sjávarflóðahættu við strönd Íslands og þróun hennar vegna loftslagsbreytinga. Þeim er ekki ætlað að vera nákvæm lýsing á flóðahættu og þróun hennar í hverjum byggðarkjarna. Mikil óvissa fylgir niðurstöðunum og því er ekki ráðlegt að taka kortin bókstaflega, t.d. fyrir einstaka byggingar og hverfi eða hafnir. Með því að beita þeirri einföldu aðferð að bera saman flóðahæðir og landhæð er flóknum og tímafrekum skrefum sleppt, s.s. að herma uppgang flóða og taka tillit til ýmissa staðbundinna þátta sem geta haft áhrif á útbreiðsluna.

Aðferðin sem hér er beitt er ágætlega til þess fallin að fá yfirsýn yfir hvar sjávarflóðahætta kann að vera til staðar á landinu – og hvar hættan er hverfandi. Niðurstöðurnar geta stutt notendur við ákvarðanatöku en hafa ber hugfast að ráðast þarf í ítarlegri úttekt þar sem upphlaup flóða er reiknað og tekið er tillit til staðbundinna þátta til þess að meta hættuna í smáatriðum. Það er sérstaklega mikilvægt fyrir staði sem þekkt er að aðferðin sem hér er beitt vanmetur útbreiðsluna, s.s. Vík í Mýrdal.

Efnisyfirlit

Ágrip	2
Abstract	3
Samantekt	4
Myndaskrá	6
Töfluskrá	7
1 Inngangur	8
2 Aðferðir	9
2.1 Reikningar flóðahæða við núverandi aðstæður	9
2.2 Sviðsmyndir um sjávarstöðuhækkun	10
2.3 Kortlagning viðmiðunarflóða	11
2.4 Um óvissu í mati á stærð óveðursflóða og áhrifum sjávarstöðubreytinga.	12
3 Niðurstöður	14
4 Umræða	21
Heimildir	23
Viðauki I.	25
Viðauki II	30

Myndaskrá

Mynd 1 Hæð 20 ára flóðs við núverandi aðstæður í hæðarkerfinu ISH2004 brúuð umhverfis landið (m).	14
Mynd 2 Hæð 50 ára flóðs við núverandi aðstæður í hæðarkerfinu ISH2004 brúuð umhverfis landið (m).	15
Mynd 3 Hæð 200 ára flóðs við núverandi aðstæður í hæðarkerfinu ISH2004 brúuð umhverfis landið (m).	15
Mynd 4 a) 200 ára flóð við núverandi aðstæður. b) 200 ára flóð árið 2150 m.v. sviðsmynd SSP5-8.5LC	16
Mynd 5 200 ára flóð á Ólafsfirði a) m.v. núverandi aðstæður, b) árið 2100 m.v. SSP5-8.5LC, c) árið 2150 m.v. SSP5-8.5LC.	17
Mynd 6 200 ára flóð í Stykkishólmi a) m.v. núverandi aðstæður, b) árið 2100 m.v. SSP5-8.5LC, c) árið 2150 m.v. SSP5-8.5LC.	17
Mynd 7 (til vinstri). 200 ára flóð á Akureyri a) m.v. núverandi aðstæður, b) árið 2100 m.v. SSP5-8.5LC, c) árið 2150 m.v. SSP5-8.5LC.	18
Mynd 8 (til hægri). 200 ára flóð á Ísafirði a) m.v. núverandi aðstæður, b) árið 2100 m.v. SSP5-8.5LC, c) árið 2150 m.v. SSP5-8.5LC.	18
Mynd 9 200 ára flóð í Reykjavík a) m.v. núverandi aðstæður, b) árið 2100 m.v. SSP5-8.5LC, c) árið 2150 m.v. SSP5-8.5LC.	19
Mynd 10 (til hægri). 200 ára flóð á Höfn í Hornafirði a) m.v. núverandi aðstæður, b) árið 2100 m.v. SSP5-8.5LC, c) árið 2150 m.v. SSP5-8.5LC.	19
Mynd 11 200 ára flóð á Eskifirði (til vinstri) og Vík í Mýrdal (til hægri) a) m.v. núverandi aðstæður, b) árið 2100 m.v. SSP5-8.5LC, c) árið 2150 m.v. SSP5-8.5LC.	20
Mynd 12 Kort af landhæðarbreytingum (lóðréttum færslum) byggt á gögnum Landmælinga Íslands á tímabilinu 2004 til 2022.	25
Mynd 13 Eiginlegar sjávarstöðubreytingar til áranna 2100 og 2150 m.v. sviðsmyndir SSP5-8.5 og SSP5-8.5LC, frá viðmiðunartímabilinu 1995–2014.	26
Mynd 14 Staðsetning þeirra byggðarkjarna sem finna má sérstök kort af í fylgiskjöllum og Loftslagsatlas Íslands og tölur fyrir í töflu 1.	26

Töfluskra

Tafla 1 Hraði landhæðarbreytinga, hæð viðmiðunarflóða við núverandi aðstæður og eiginleg sjávarborðshækkun til 2100 og 2150 við byggðarkjarna við ströndina. 27

Tafla 2 Yfirlit yfir þá byggðarkjarna sem finna má sérstök kort af í hverju fylgiskjali fyrir sig. Byggðarkjörnum er raðað í röð réttisælis umhverfis landið. 29

1 Inngangur

Kort af mögulegri útbreiðslu óveðursflóða voru birt í skýrslunni *Mat á endurkomutíma óveðursflóða reiknað með Delft3D-FM* (Halldór Björnsson o.fl., 2022; hér eftir VÍ-2022) fyrir alla byggðarkjarna við ströndina umhverfis landið. Markmið þess verkefnis var að kortleggja mögulega flóðahættu við núverandi aðstæður með sambærilegri aðferð fyrir alla strandlengju Íslands til að geta fundið þau svæði þar sem sjávarflóðahætta kynni að vera fyrir hendi. Í þeirri skýrslu var einungis fjallað um flóðahættu við núverandi aðstæður en ekki tekið tillit til væntanlegra sjávarstöðubreytinga. Hér er markmiðið að koma með uppfært mat á núverandi sjávarflóðahættu, auk þess að bæta við mati á mögulegri breytingu á sjávarflóðahættunni til framtíðar.

Í þessari skýrslu eru notaðar sviðsmyndir af sjávarstöðubreytingum sem Vísindanefnd um loftslagsbreytingar kynnti í skýrslunni *Umfang og afleiðingar hnattrænna loftslagsbreytinga á Íslandi* (Halldór Björnsson o.fl., 2023; hér eftir VÍ-2023). Þær eru notaðar til að meta líklegar sjávarstöðubreytingar og breytingar á flóðahættu á Íslandi.

Flóðakortin í fyrri skýrslu byggðu á greiningu á niðurstöðum reiknilíkans fyrir árin 1996–2017 og sýndu útbreiðslu flóða með 1% árslíkur (100 ára flóð, h_{100}). Í þessari skýrslu er byggt á reikningum frá lengra tímabili, þ.e. 1980–2017 og reiknuð kort fyrir flóð sem hafa 5% árslíkur (20 ára flóð, h_{20}), flóð sem hafa 2% árslíkur (50 ára flóð, h_{50}) og flóð sem hafa 0.5% árslíkur (200 ára flóð, h_{200}). Þessir útreikningar eru gerðir fyrir þrjá tímapunkta; núverandi aðstæður og fyrir árin 2100 og 2150. Til að reikna mögulega útbreiðslu flóða í framtíðinni var notast við tvær þeirra sviðsmynda sem Vísindanefnd um loftslagsbreytingar notaði. Á hverjum stað voru því reiknuð kort fyrir þrjá ólíka endurkomutíma á þremur ólíkum tímapunktum og tvær mismunandi sviðsmyndir um losun gróðurhúsalofttegunda og loftslagsbreytingar notaðar — eða fimmtán kort alls. Gerð voru kort af öllum byggðarkjörnum við ströndina auk yfirlitskorta, í heildina yfir 1700 kort.

Í næstu greinum eru aðferðir ræddar nánar, dæmi sýnd um kort og umræða um það sem hafa ber í huga við túlkun kortanna. Öll kortin má finna í fylgiskjöllum þessarar skýrslu, en einnig er vísað á Loftslagsatlas Íslands (Veðurstofa Íslands, 2025) til að skoða þau í samhengi. Í töflu 2 í viðauka má sjá yfirlit yfir fylgiskjöl skýrslunnar og hvaða byggðarkjörnum má finna kort af í þeim.

2 Aðferðir

Til að meta hæð aftakaflóða (t.d. hæð flóða með tiltekna árslíkur) er tölfraðilegum aðferðum beitt við að greina öfgar (sjá t.d. Matthías Ásgeirsson o.fl., 2017). Algengt er að nota almennu öfgagreininguna á árshámörk mælinga til að meta hæð aftakaflóða (Coles, 2001). Vandinn við þá aðferð er hún nýtir gögnin illa. Að auki torveldar það mat á hæð óveðursflóða að ef óveðursflóð verður á lágflæði sést það ekki í mælingum. Þessir vankantar þýða að langar raðir þarf til að ná mati á aftakaflóðum. Fyrir styttri raðir má ná árangri með því að aðskilja veðurpáttinn frá sjávarföllum og beita tölfraðilegum aðferðum við að skoða áhrif þess ef tímasetning óveðursflóða hefði hitt á annan hátt á sjávarföllum (Matthías Ásgeirsson o.fl., 2017).

2.1 Reikningar flóðahæða við núverandi aðstæður

Eins og rætt er í VÍ-2022 var *Delft3D-FM* líkanið keyrt í mjög þéttu reiknineti fyrir strandsvæði Íslands fyrir tímabilið 1996 til 2017. Líkanið var fyrst keyrt með sjávarföllum og breytingum á veðri, en síðan voru keyrslurnar endurteknar fyrir tilvik þar sem áhrifum lofthjúps var sleppt, og einungis skoðuð áhrif sjávarfalla. Mismunur þessara tveggja var tímaröð sem hægt var að nota til þess að meta veðurpátt sjávarflóða í 90 gátpunktum umhverfis landið (sjá mynd A1 í VÍ-2022).

Í VÍ-2022 var aðferð sem kennd er við slembifasa (Theiler o.fl., 1992) beitt til að gera 500 jafngildar útgáfur af veðurpætti sjávarhæðar í hverjum gátpunkti. Hver útgáfa hafði sömu tölfraðilegu eiginleika og upphaflega veðurpáttaröðin. Með því að leggja þær við sjávarfallaröðina fengust 500 ólíkar útgáfur af tímasetningu flóða sem endurspegla möguleikann á því að sambærilegt flóð hitti á lágflæði eða háflæði. Almennri öfgagreiningu var síðan beitt á hæstu árgildi hvernna raðar og þannig gerð líkindadreifing fyrir hæð aftakaflóðs með tiltekinn endurkomutíma, sk. 100 ára flóð í VÍ-2022. Það hæðargildi sem samsvaraði 95% hlutfallsgildi dreifingarinnar í hverjum gátpunkti var síðan lagt til grundvallar sem viðmiðunarflóð.

Í þessari skýrslu var árunum frá 1980 til 1995 bætt við og því skoðuð röð sem náði yfir tímabilið 1980 til 2017, eða 38 ár. Þetta er sama tímabil og endurgreining á veðri (ICRA gögnin; Nawri o.fl., 2017) náði yfir. Sjávarfallakeyrslur voru ekki endurteknar fyrir tímabilið 1980 til 1995, því sjávarföll endurtaka sig á rúmlega 18 ára fresti og því mátti endurnýta fyrri sjávarfallakeyrslur. Aftur var hafður sami háttur á, og hinni tölfraðilegu slembifasa aðferð (Theiler o.fl., 1992) beitt til að gera 500 útgáfur af 38 ára flóðaröð í sömu gátpunktum og í VÍ-2022. Almennri aftakagreiningu var síðan beitt til að reikna h_{20} , h_{50} og h_{200} fyrir hverja röð í öllum gátpunktum, sem skilaði 500 útgáfum af hæðargildi hvers endurkomutíma. Sem fyrr var 95% hlutfallsmark dreifingar hvers hæðargildis notað sem viðmiðunargildi fyrir hæðir h_{20} , h_{50} og h_{200} . Þau gildi voru svo brúuð til að gera kort af viðmiðunarflóðahæð fyrir endurkomutímána þrjá umhverfis landið miðað við núverandi aðstæður (sjá myndir 1 til 3). Þessi kort voru síðan lögð við sviðsmyndir af sjávarstöðubreytingum eins og lýst er í næstu greinum.

2.2 Sviðsmyndir um sjávarstöðuhækkun

Milliríkjanefnd SP um loftslagsbreytingar (IPCC) gaf árið 2021 út skýrslu þar sem lagt er mat á sjávarstöðuhækkun á næstu áratugum og öldum. Þar er bent á að hnattræn hækkun sjávarstöðu mun halda áfram öldum saman. Dragi lítið úr losun gróðurhúsalofttegunda næstu áratugi, gæti hnattræn hækkun árið 2300 náð tæplega 7 m (miðað við aldamótin 1900). Takist hins vegar að hemja losun, þá gæti hnattræn sjávarstöðuhækkun eftir sem áður náð 2 – 3 m árið 2300. Svörun ísbreiða Suðurskautslandsins og Grænlands við ákafri hlýnun lofthjúpsins er ekki vel skilin og IPCC lagði því fram hamfarakennda sviðsmynd þar sem ferli ákafs massataps ísbreiðanna tekur yfir. Í þessari sviðsmynd getur hnattræn hækkun sjávarstöðu náð 16 m árið 2300 (Fox-Kemper, 2021).

Hér verða tvær af þeim sviðsmyndum sem IPCC setti fram notaðar; sviðsmynd sem kenna má við ákafa losun og byggir á losunarsviðsmynd SSP5-8.5 og aðra hamfarakenndari sem byggir á sviðsmynd SSP5-8.5LC (Fox-Kemper, 2021). Fyrri sviðsmyndin er ítrasta losunarsviðsmynd IPCC, en í þeirri síðari er að auki gert ráð fyrir verulega auknu massatapi frá ísbreiðum Suðurskautslandsins og Grænlands. Þessi hamfarakennda sviðsmynd er sk. frávikasviðsmynd og í VÍ-2023 kemur fram að óvissan tengd henni verður mjög há á næstu öld, eða rúmir 4 metrar umhverfis Ísland. Munur á sjávarstöðuhækkun í þessum tveimur sviðsmyndum eykst með tíma, en árið 2100 nemur hnattræn hækkun sjávarstöðu 77 cm í sviðsmynd SSP5-8.5 og 88 cm í sviðsmynd SSP5-8.5LC. Mat á hnattrænni hækkun sjávarstöðu til ársins 2150 er 132 cm í SSP5-8.5 en 198 cm í SSP5-8.5LC. Þessi hækkun er frá meðaltali árána 1995–2014 (en miðpunktur þess er árið 2005, sjá nánar Fox-Kemper o.fl. 2021).

Í skýrslum Vísindanefndar um loftslagsbreytingar (Halldór Björnsson o.fl., 2018 og 2023) er rætt um þá þætti sem hafa áhrif á sjávarstöðubreytingar við Ísland og áhrif loftslagsbreytinga á sjávarstöðu í framtíðinni. Þrír þættir hafa mest áhrif á eiginlega sjávarstöðu: varmaþensla sjávar, massatap jökla sem eykur magn vatns í hafinu, og fingrafar massabreytinganna. Síðastnefndi þátturinn stafar af áhrifum massataps jökla á þyngdarsviðið umhverfis jökulinn.

Áhrif bráðnunar Grænlandsjökuls, Suðurskautsísbreiðunnar og íslenskra jökla á fingrafarið umhverfis Ísland hafa verið reiknuð (Berglind Pétursdóttir, 2022). Byggt á þeim útreikningum og niðurstöðum IPCC um aðra þætti lagði Vísindanefnd mat á eiginlegar sjávarstöðubreytingar við Ísland fyrir þrjár ólíkar sviðsmyndir um losun gróðurhúsalofttegunda (sem hafa mismikil áhrif á umfang loftslagsbreytinga og afleiðingar s.s. hlýnun sjávar og massatap jökla).

Afstæð sjávarstöðuhækkun, þ.e. sú sjávarborðshækkun sem verður við ströndina á hverjum stað er ekki einungis háð eiginlegri sjávarstöðuhækkun heldur einnig landhæðarbreytingum. Ef gert er ráð fyrir að hraði landhæðarbreytinga haldist óbreyttur á komandi áratugum er hægt að nota mæligögn til þess að framreikna landhæðarbreytingar. Með því að sameina framreiknaðar landhæðarbreytingar og eiginlega sjávarstöðuhækkun má reikna út afstæða sjávarstöðuhækkun, sem er sú stærð sem skiptir máli þegar breytingar á flóðahættu eru skoðaðar.

Í VÍ-2023 var sett fram mat á afstæðri sjávarstöðuhækkun til aldamóta og ársins 2150 fyrir 17 staði á landinu (sjá töflur 2.10 og 2.11 í VÍ-2023). Við suðausturströndina, þar sem land rís hraðast, er líklegt að til aldamóta geti afstæð sjávarstaða fallið um ~1.5 m en hækkað um allt að 1.2 m þar sem landsig er hvað mest. Annars staðar á landinu verður sjávarstöðuhækkun mismikil, en hún verður meiri eftir því sem losun gróðurhúsalofttegunda er ákafari og áhrif loftslagsbreytinga meiri. Óvissa í mati á sjávarstöðubreytingum vex til ársins 2150 og er mest um 4 metrar í þeirri sviðsmynd þar sem sjávarstaða hækkar örst (sjá töflu 2.6 í VÍ-2023). Vísindanefndin áréttar að þrátt fyrir vaxandi óvissu sé líklegt að sjávarstöðubreytingar haldi áfram öldum saman.

2.3 Kortlagning viðmiðunarflóða

Viðmiðunarflóð með 20, 50 og 200 ára endurkomutíma voru kortlögð á einfaldan hátt fyrir núverandi aðstæður. Það var gert á sama hátt og gert var í VÍ-2022, eða með því að kortleggja þau svæði sem liggja lægra en viðmiðunarhæð sjávarflóða (sjá myndir 1 til 3) á hverjum stað eftir að viðmiðunarflóðhæðin hafði verið bryggjuð inn á land með aðferð næstu nággranna. Til grundvallar útreikningunum liggur landhæðarlíkanið ÍslandsDEM (Landmælingar Íslands, 2020).

Með því að leggja saman viðmiðunarhæð sjávarflóða við núverandi aðstæður (sjá myndir 1 til 3) og sviðsmyndir um sjávarstöðuhækkun skv. mati Vísindanefndar um loftslagsbreytingar var lagt mat á viðmiðunarhæð flóða með 20, 50 og 200 ára endurkomutíma árin 2100 og 2150 fyrir tvær losunarsviðsmyndir (SSP5-8.5 og SSP5-8.5LC). Fyrir hvern endurkomutíma voru því í heildina reiknaðar fimm viðmiðunarflóðhæðir, þ.e. fyrir núverandi aðstæður, árið 2100 skv. hvorri sviðsmynd fyrir sig og árið 2150 fyrir sviðsmyndirnar tvær. Þar sem endurkomutímarnir eru þrír voru í heildina reiknaðar 15 viðmiðunarhæðir sjávarflóða umhverfis landið.

Sviðsmyndir um sjávarstöðuhækkun, þ.e. sú sjávarborðshækkun sem lögð var við endurkomuhæð viðmiðunarflóðanna við núverandi aðstæður voru reiknaðar á eftirfarandi hátt. Notaðar voru niðurstöður Berglindar Pétursdóttur (2023) um þá sjávaryfirborðsbreytingu sem verður í kring um Ísland vegna aukins vatns í hafinu og breytingar á fingrafari vegna massataps ísbreiða og íslensku jöklanna. Við hana var lagt miðgildi líklegrar varmaþenslu sjávar við Reykjavík skv. IPCC fyrir viðkomandi sviðsmyndir (NASA, á.á.), líkt og stungið var upp á í VÍ-2023. Gert var ráð fyrir því að varmaþensla sjávar umhverfis landið væri fasti. Yfirlit yfir eiginlega sjávarstöðuhækkun skv. sviðsmyndunum tveimur má finna á mynd 13 og í töflu 1 í viðauka.

Um mögulegar breytingar á lægðagangi og tíðni óveðra ríkir talsverð óvissa, a.m.k. hvað varðar vind (Seneviratne o.fl., 2021). Mögulegar framtíðarbreytingar á þáttum sem hafa áhrif á stærð og tíðni flóða, s.s. á brautum og tíðni storma, eru því ekki hluti af þessum sviðsmyndareikningum. Við útreikningana er byggt á óveðratíðni ICRA eins og rakið er hér að framan. Fyrir framtíðarsviðsmyndir eru notaðar endurkomuhæðir við núverandi aðstæður og gert ráð fyrir að tölfræðilegir eiginleikar haldist þeir sömu til framtíðar.

Byggt á mæligögnum frá Landmælingum Íslands frá 2004 til 2022 (sjá mynd 12 í viðauka) voru landhæðarbreytingar framreiknaðar til aldamóta og til ársins 2150 með því að gera ráð fyrir að hraði þeirra haldist óbreyttur. Framtíðarlandhæð var svo reiknuð með því að leggja þær niðurstöður við landhæðarlíkanið ÍslandsDEM (Landmælingar Íslands, 2020). Niðurstöður þessara reikninga mátti nota til þess að kortleggja þau svæði sem eru líkleg til að liggja lægra en viðmiðunarflóðhæðin í hverju tilfelli fyrir sig. Gerð voru kort af viðmiðunarflóðum fyrir allar 15 viðmiðunarhæðir sjávarflóða sem reiknaðar voru af öllum byggðarkjörnum landsins við ströndina, auk yfirlitskorta, eða yfir 1700 kort. Hægt er að skoða hver áhrif hinna ólíku sviðsmynda eru á flóðahættu á hverjum stað á tveimur tímapunktum í framtíðinni með því að bera kortin saman.

Kortin má nálgast í fylgiskjöllum skýrslunnar og á Loftslagsatlas Íslands (Veðurstofa Íslands, 2025). Öll strandsvæði landsins sjást á yfirlitskortum. Í viðauka má nálgast yfirlit yfir fylgiskjöl skýrslunnar, auk upplýsinga um hraða landhæðarbreytinga, endurkomuhæðir við núverandi aðstæður og eiginlega sjávarborðshækkun skv. sviðsmyndunum tveimur árin 2100 og 2150 fyrir hvern byggðarkjarna við ströndina að Grindavík undanskilinni (sjá töflu 1 og myndir 12 til 14 í viðauka). Nánari lýsingu á aðferðfræði má lesa í viðauka II.

2.4 Um óvissu í mati á stærð óveðursflóða og áhrifum sjávarstöðubreytinga.

Kortin í þessari skýrslu eru ætluð til þess að gefa hugmynd um útbreiðslu verstu sjávarflóða, og því ástæða til að skoða sérstaklega ítrustu sviðsmyndir og frávikasviðsmyndir þeim tengdar. Aðferðafræðileg óvissa tengd útreikningi á flóðahæð og kortlagningu flóðanna við núverandi aðstæður er rædd í VÍ-2022. Þar er m.a. bent á að þessi kortlagning tekur ekki tillit til öldupáttar, en á sumum stöðum getur öldupáttur bætt við hæð verstu flóða. Við kortlagningu framtíðarsviðsmynda bætist einnig við óvissa tengd framtíðar landhæðarbreytingum. Þó óvissa tengd þessum þáttum geti verið umtalsverð á sumum stöðum er hún samt mun minni en óvissa tengd sjávarstöðuhækkun.

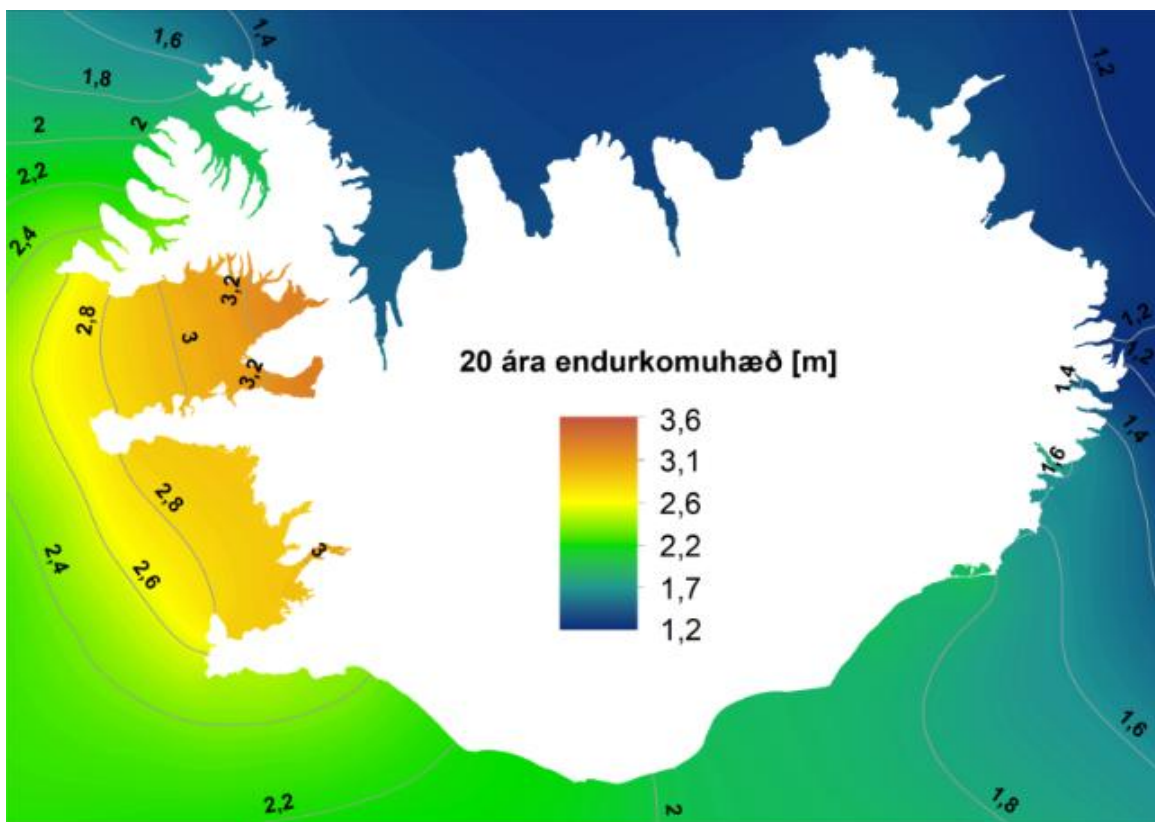
Mikilvægt er að hafa í huga í þessu samhengi að óvissa tengd útreikningi á flóðahæð er annars eðlis en óvissan tengd sjávarstöðuhækkun. Óvissan í flóðahæð er slembikennd og tölfraðilegar aðferðir ná vel að vinna úr slíkum upplýsingum (sjá umfjöllun í VÍ-2022). Þetta er ólíkt óvissu um sjávarstöðu í tengslum við loftslagsbreytingar. Þar eru tveir aðrir óvissupættir sem miklu skipta og eru ekki slembikenndir. Í fyrsta lagi vitum við ekki hversu mikið verður losað af gróðurhúsalofttegundum og því eru líkindi þess að sviðsmynd SSP5-8.5 gangi eftir lítt þekkt. Einnig er svörun stóru ísbreiðanna við hlýnun ekki nægilega vel skilin, sem er ástæða þess að frávikasviðsmyndin SSP5-8.5LC er þróuð. Það má líta á frávikasviðsmyndina sem tilraun til að kanna afleiðingar þekkingarskorts, en óvissa innan hvernar sviðsmyndar (sjá t.d. töflur 2.6, 2.10 og 2.11 í VÍ-2023) er í raun mat á áhrifum þess að afleiðingar hlýnunar eru ekki nægilega vel skildar (Fox-Kemper o.fl., 2021). Munurinn á þessum tegundum óvissu birtist m.a. í því að gera má ráð fyrir að óvissur tengdar losun og sviðsmyndum minnki eftir því sem loftslagsbreytingum vindi fram, en það er engin ástæða til að ætla að slembikennd óvissa óveðursflóða minnki.

Í ljósi þessara ólíku tegunda óvissu, er hér notað mat Vísindanefndar á líklegri sjávarstöðuhækkun en ekki efri óvissumörk hveurrar sviðsmyndar. Eftir sem áður er vakin athygli á því að óvissan er veruleg, sérstaklega þegar líður fram á næstu öld.

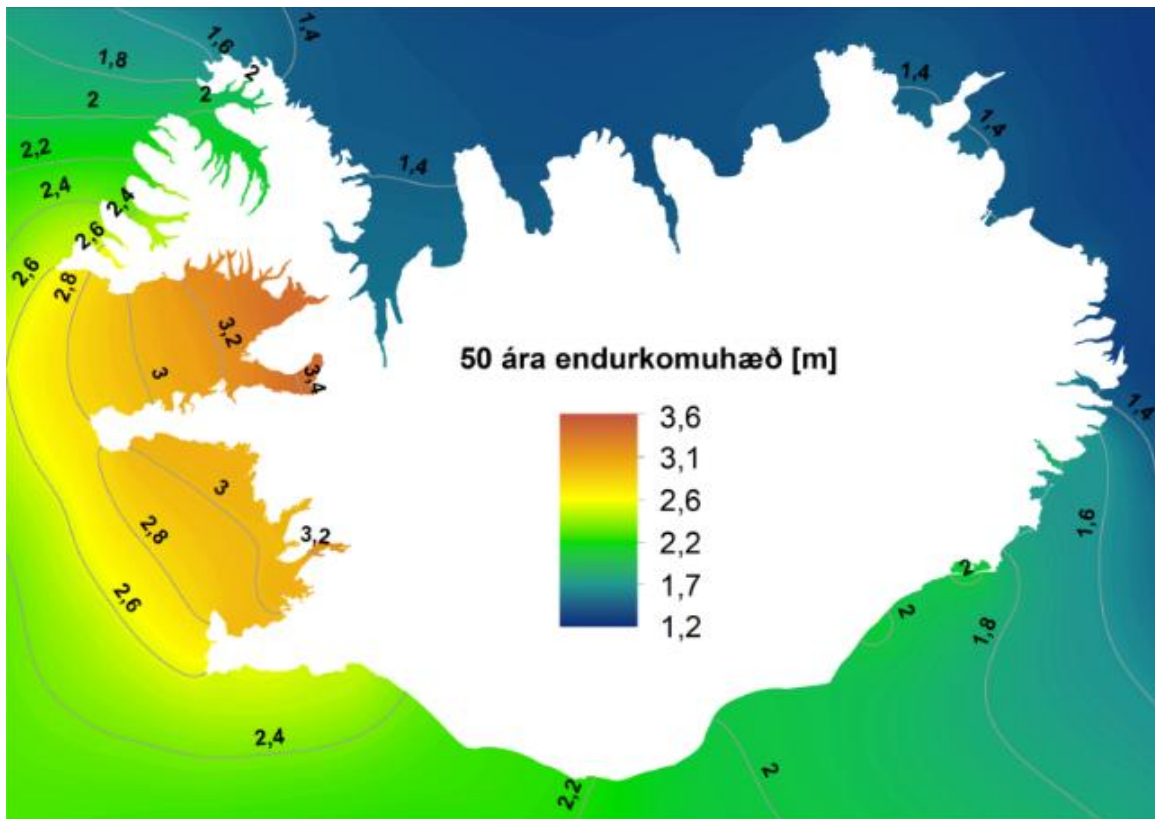
3 Niðurstöður

Viðmiðunarflóð með 20, 50 og 200 ára endurkomuhæð eru sýnd á myndum 1 til 3. Þau svæði sem liggja lægra en viðmiðunarflóðin á hverjum stað við núverandi aðstæður voru fundin með því að bera saman hæðarlíkan af Íslandi (ÍslandsDEM) og viðmiðunarflóðhæðina. Dæmi um það má sjá á mynd 4a sem sýnir 200 ára flóð við núverandi aðstæður. Mynd 4b sýnir 200 ára flóð árið 2150 m.v. sviðsmynd SSP5-8.5LC. Þar hefur sú sviðsmynd um sjávarstöðubreytingar verið lögð við núverandi 200 ára flóð og framreiknaðar landhæðarbreytingar verið lagðar við hæðarlíkanið ÍslandsDEM. Við fyrstu sýn er lítill munur á kortunum. Þegar betur er að gáð sést að þar sem landris er hvað hraðast (við suðausturströndina, sjá mynd 12 í viðauka) má búast við að dragi úr sjávarflóðahættu en á lágsvæðum annars staðar mun hún aukast, sérstaklega á svæðum þar sem búist er við landsigi.

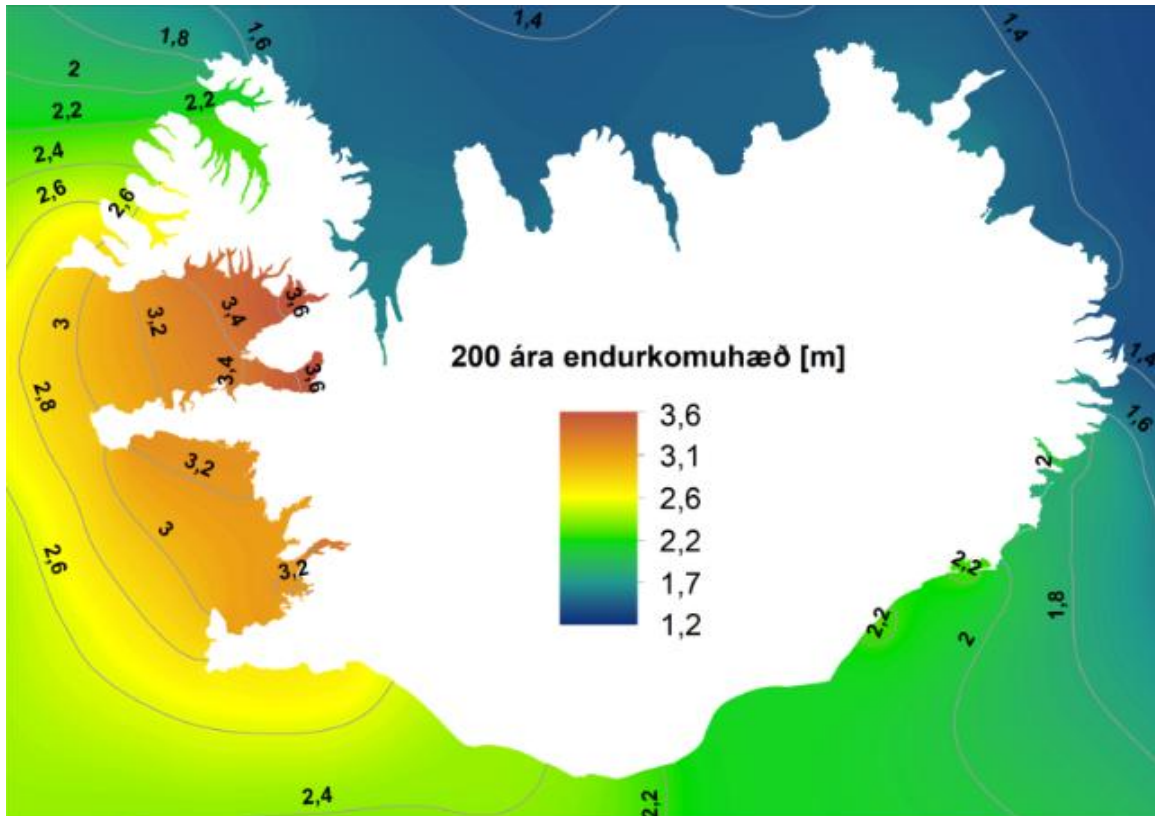
Þegar einstakir staðir eru skoðaðir er mismunandi hversu mikil áhrif sjávarstöðuhækkun er líkleg til að hafa á stærð mögulegra flóðasvæða. Munurinn á útbreiðslu sjávarflóða verður mestur á lágsvæðum þar sem landhalli er lítill, slík svæði eru viðkvæmari fyrir sjávarstöðuhækkun en önnur. Annars staðar, þar sem hæðarsnið landsins er slíkt að lítið er um lágsvæði breytist útbreiðslan minna. Þó ber að hafa í huga að dýpt flóðvatnsins gæti aukist þar sem á annað borð flæðir.



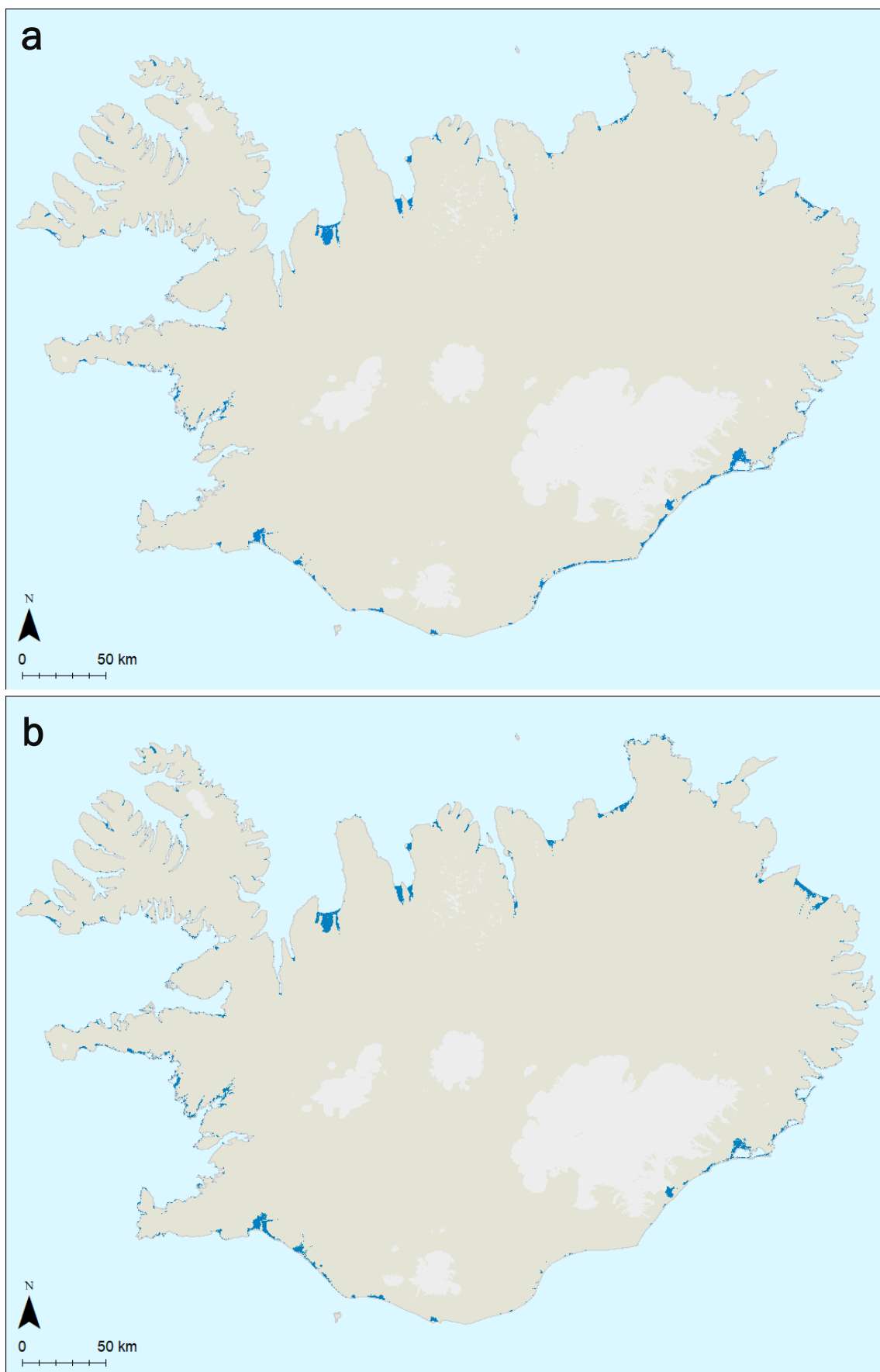
Mynd 1 Hæð 20 ára flóðs við núverandi aðstæður í hæðarkerfinu ISH2004 brúuð umhverfis landið (m).



Mynd 2 Hæð 50 ára flóðs við núverandi aðstæður í hæðarkerfinu ISH2004 brúuð umhverfis landið (m).



Mynd 3 Hæð 200 ára flóðs við núverandi aðstæður í hæðarkerfinu ISH2004 brúuð umhverfis landið (m).



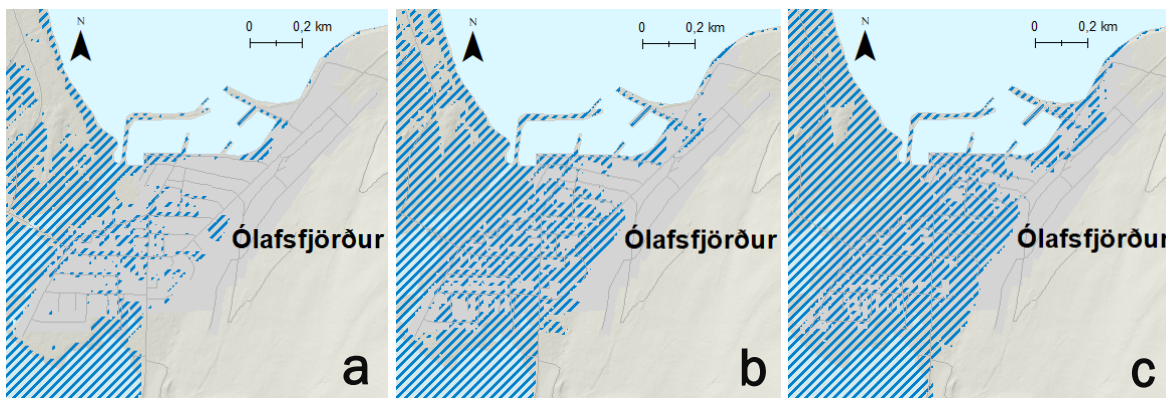
Mynd 4 a) 200 ára flóð við núverandi aðstæður. b) 200 ára flóð árið 2150 m.v. sviðsmynd SSP5-8.5LC

Mynd 5 sýnir ágætlega hvernig flóðahættan getur stórauðist á tiltölulega flötum lágsvæðum í framtíðinni. Þar má sjá útbreiðslu 200 ára flóðs (h_{200}) á Ólafsfirði við núverandi aðstæður og árin 2100 og 2150 fyrir sviðsmynd SSP5-8.5LC. Á Ólafsfirði hafa mælingar að auki sýnt nokkuð landsig sem eykur vandann (sjá mynd 12 og töflu 1 í viðauka). Mynd 6 er hins vegar af Stykkishólmi sem er ágætt dæmi um það þegar landhalli er slíkur að flóðasvæði er líklegt til að stækka aðeins lítillega þrátt fyrir sjávarborðshækkun og að reiknað sé með tiltölulega litlum landhæðarbreytingum þar.

Fyrir einstaka byggðarkjarna munar oft miklu milli hverfa hver landhallinn er og hversu viðkvæm þau eru fyrir sjávarstöðuhækkun. Mynd 7 sýnir dæmi um slíkt, en hún sýnir niðurstöður fyrir 200 ára flóð á Akureyri. Á þekktum lágsvæðum (t.d. Oddeyrinni og meðfram Drottningarbraut) er greinilegt að útbreiðsla h_{200} á þessari öld og þeirri næstu eykst, en utan lágsvæða sést ekki munur. Á Ísafirði (mynd 8), í Reykjavík (mynd 9) og á Eskifirði (mynd 11) stækka einnig þau svæði sem flóðahætta er fyrir hendi á í dag.

Undir Vatnajökli, þar sem landris er hve hraðast (sjá mynd 12 í viðauka) og fingrafar bráðnunar vinnur á móti sjávarborðshækkun er útlit fyrir að dragi nokkuð úr sjávarflóðahættu í framtíðinni. Dæmi um það er Höfn í Hornafirði (sjá mynd 10).

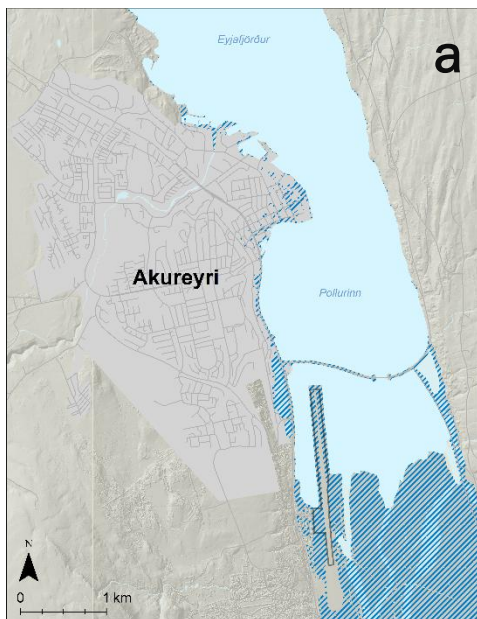
Vík í Mýrdal er dæmi um stað þar sem niðurstöðurnar bera vott um annmarka aðferðarinnar sem beitt er (sjá mynd 11). Þar er nánast enga flóðahættu að sjá þrátt fyrir að vitað sé að hættan er fyrir hendi. Nánar er rætt um það í næsta kafla.



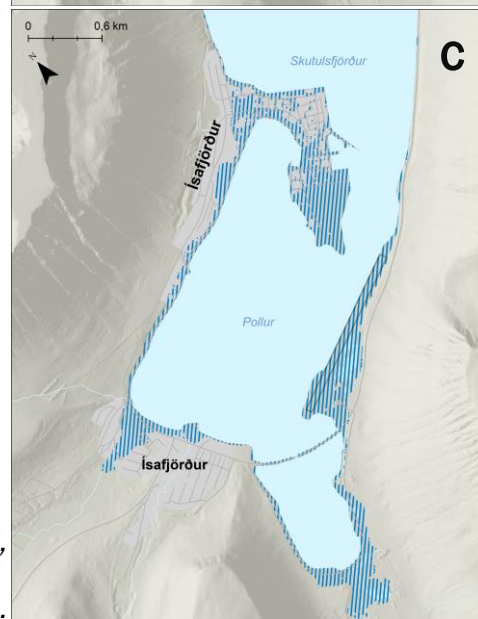
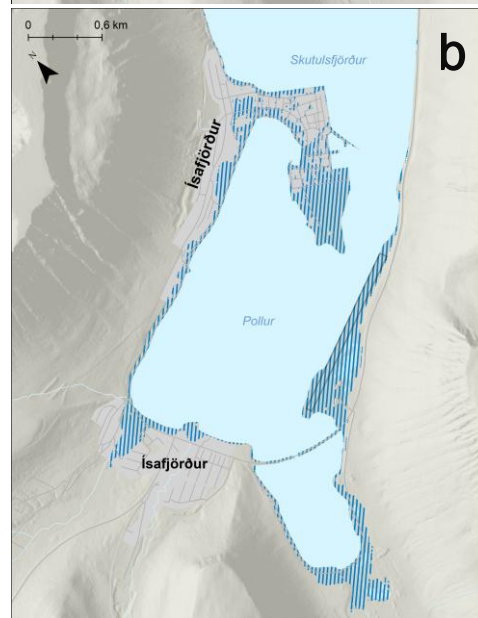
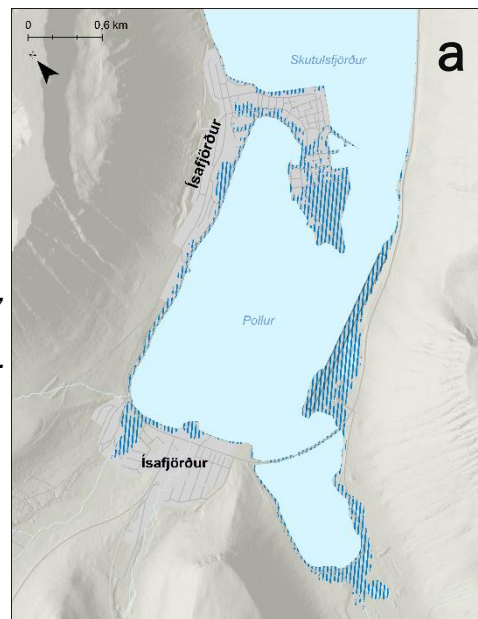
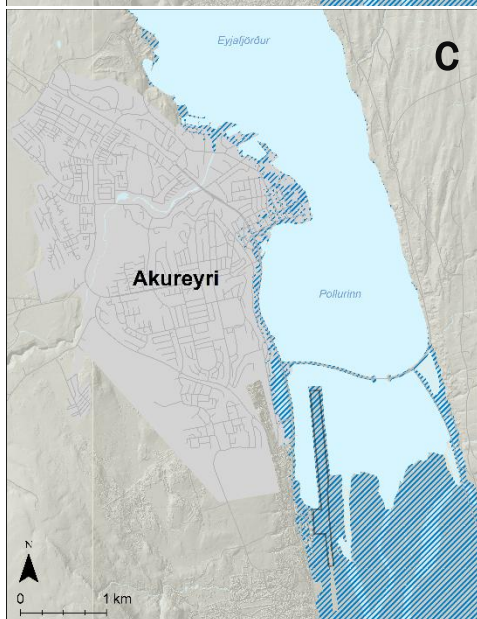
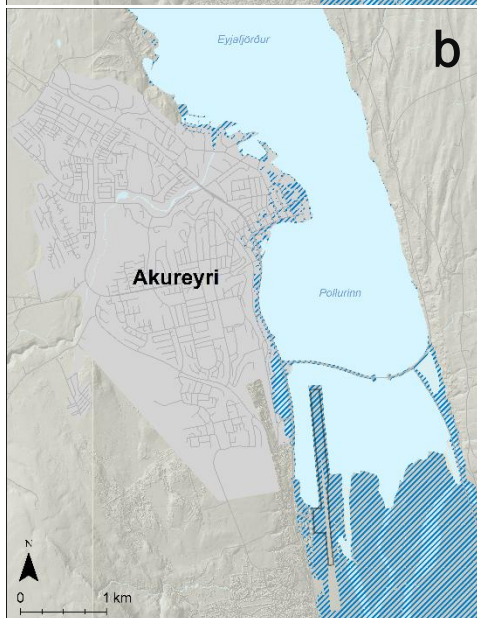
Mynd 5 200 ára flóð á Ólafsfirði a) m.v. núverandi aðstæður, b) árið 2100 m.v. SSP5-8.5LC, c) árið 2150 m.v. SSP5-8.5LC.



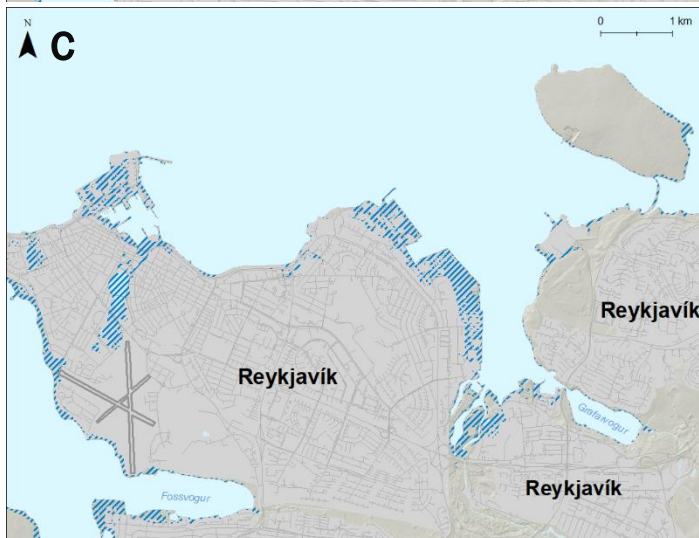
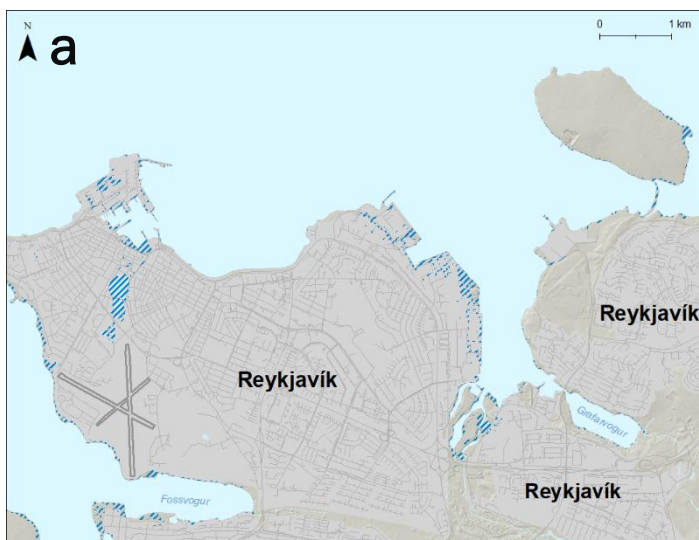
Mynd 6 200 ára flóð í Stykkishólmi a) m.v. núverandi aðstæður, b) árið 2100 m.v. SSP5-8.5LC, c) árið 2150 m.v. SSP5-8.5LC.



Mynd 7
(til vinstri).
200 ára flóð á
Akureyri
a) m.v.
núverandi
aðstæður,
b) árið 2100
m.v. SSP5-8.5LC,
c) árið 2150
m.v. SSP5-8.5LC.

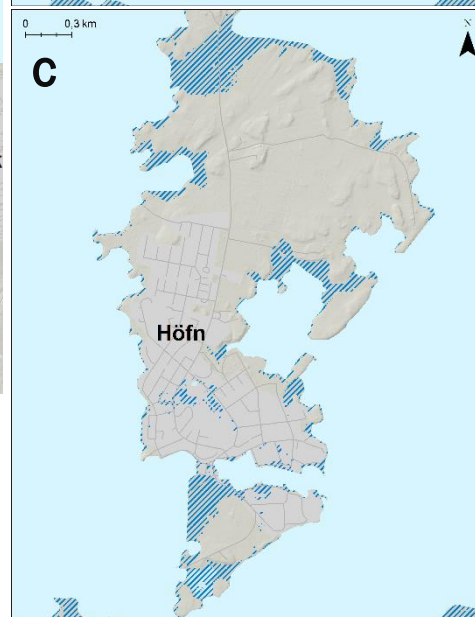
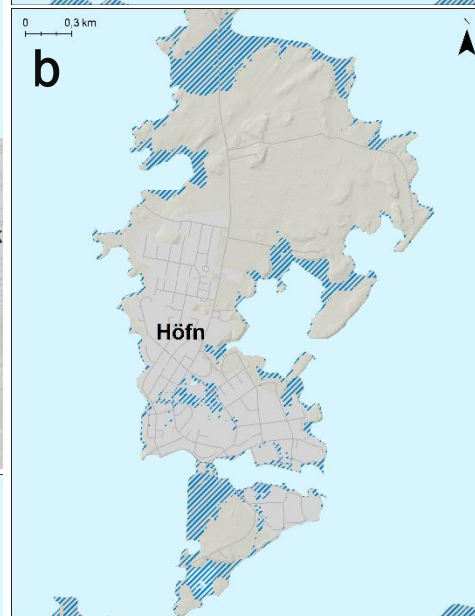
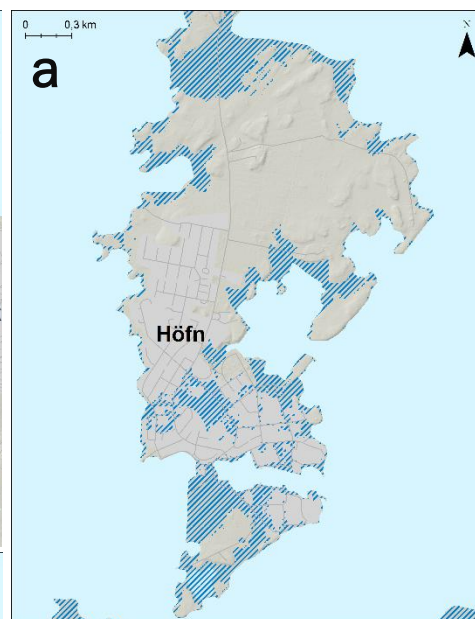


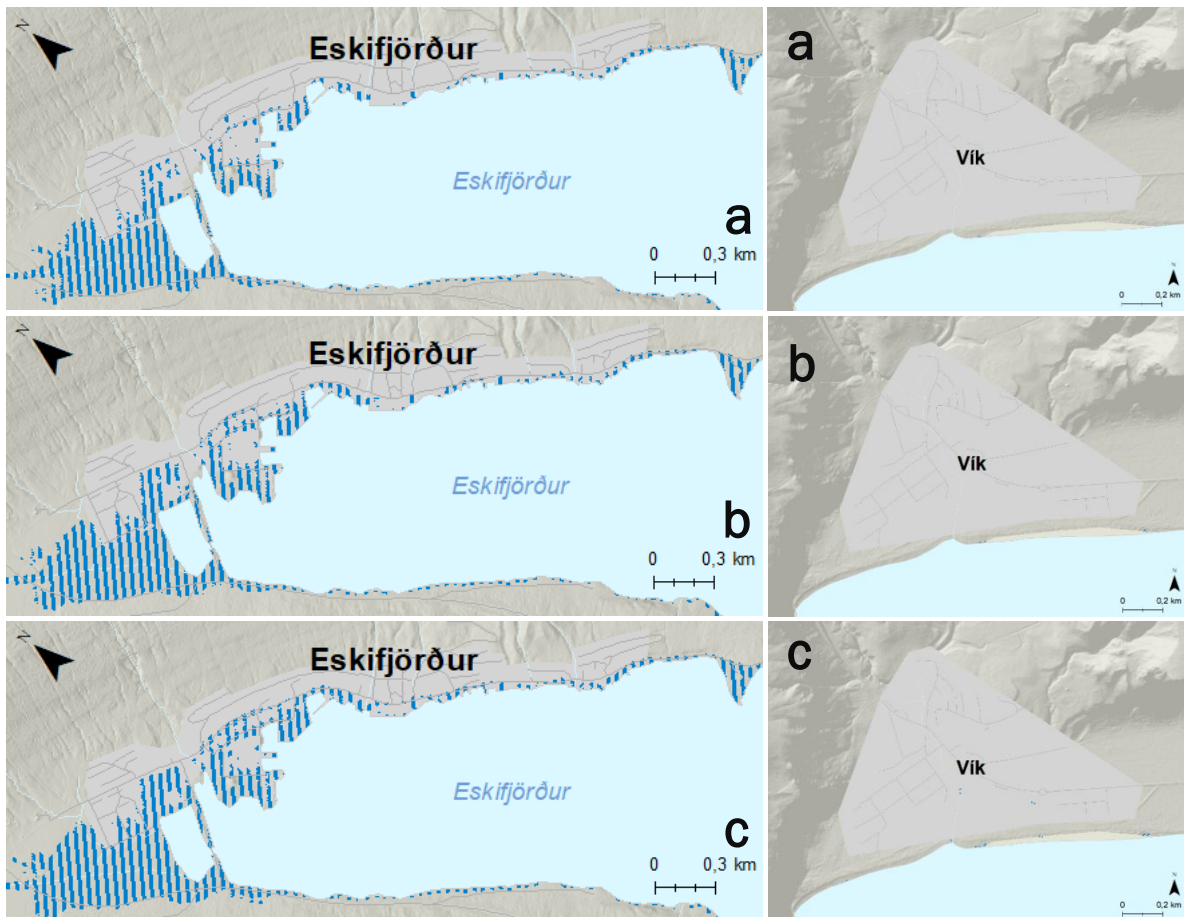
Mynd 8
(til hægri).
200 ára flóð á
Ísafirði
a) m.v.
núverandi
aðstæður,
b) árið 2100
m.v. SSP5-8.5LC,
c) árið 2150
m.v. SSP5-8.5LC.



Mynd 9 200 ára flóð í Reykjavík a) m.v. núverandi aðstæður, b) árið 2100 m.v. SSP5-8.5LC, c) árið 2150 m.v. SSP5-8.5LC.

Mynd 10 (til hægri). 200 ára flóð á Höfn í Hornafirði a) m.v. núverandi aðstæður, b) árið 2100 m.v. SSP5-8.5LC, c) árið 2150 m.v. SSP5-8.5LC.





Mynd 11 200 ára flóð á Eskifirði (til vinstri) og Vík í Mýrdal (til hægri) a) m.v. núverandi aðstæður, b) árið 2100 m.v. SSP5-8.5LC, c) árið 2150 m.v. SSP5-8.5LC. Varðandi Vík í Mýrdal má benda á umræðu um vanmat á öldupætti í kafla 4.

4 Umræða

Þessi skýrsla kynnir flóðakort fyrir byggðarkjarna við ströndina, bæði fyrir núverandi aðstæður og árin 2100 og 2150 að teknu tilliti til sviðsmynda um losun gróðurhúsalofttegunda og áhrif loftslagsbreytinga. Fyrir hvern byggðarkjarna eru birt a.m.k. 15 kort og sýna þau mögulega útbreiðslu sjávarflóða. Á því er ein undantekning, en sökum óvissu og stöðugra breytinga á aðstæðum í Grindavík eru ekki birtar niðurstöður þaðan.

Þegar kortin eru túlkuð er mikilvægt að hafa í huga að þetta verkefni snýr að því að gera yfirlit um sjávarflóðahættu við strönd Íslands og þróun hennar vegna loftslagsbreytinga. Þeim er ekki ætlað að vera nákvæm lýsing á flóðahættu og þróun hennar í hverjum byggðarkjarna. Til að endurspeglar þetta var ákveðið að draga útlínur flóða með grófum þverstrikum.

Með því að beita þeirri einföldu aðferð að bera saman viðmiðunarhæð sjávarflóða og landhæð reyndist mögulegt að leggja mat á það hvar sjávarflóðahætta kann að vera til staðar og skoða hvernig hún gæti breyst í framtíðinni fyrir landið í heild. Rétt eins og í fyrri skýrslu (VÍ-2022) var nokkrum flóknum og tímafrekum skrefum sleppt við útreikninga á útbreiðslu viðmiðunarflóðanna þar sem erfitt væri að taka tillit til allra þeirra þátta sem hafa áhrif á uppgang flóða meðfram allri strandlengjunni. Þannig var t.d. ekki tekið tillit til varanda, þ.e. hversu langan tíma það tæki vatn að berast upp á land og hversu lengi háflæði stæði yfir. Einnig er gert ráð fyrir að landhæð hverju sinni sé fasti, en stórfelldu landbroti gæti fylgt aukin flóðahætta. Annar annmarki aðferðarinnar er að öll svæði sem liggja lægra en viðmiðunarflóðhæðin eru kortlögð undir flóðvatni þó sums staðar sé ólíklegt að upphlaup flóðs nái slíkri útbreiðslu, t.d. vegna fyrirstöðu.

Mikilvægur þáttur sem ekki er tekið tillit til hér er öldugangur. Víðast hvar tekst líkaninu ágætlega að herma veðurflóð þó öldugangur geti aukið útbreiðsluna nokkuð. Á grynningum þar sem þáttur öldugangs verður hlutfallslega stærri getur útbreiðslan hins vegar verið vanmetin. Hún kann einnig að vera vanmetin á stöðum þar sem líkanið nær ekki staðbundnum vinddrifnum áhlaðanda nægilega vel. Þá ber að nefna að útbreiðsla getur aukist af öðrum orsökum, s.s. sökum mikilla rigninga, leysinga eða yfirþrýstings í fráveitum. Frekari umræðu um annmarka aðferðarinnar með dæmum má finna í VÍ-2022.

Hvað varðar framtíðarsviðsmyndir er mikilvægt að ítreka að veruleg óvissa fylgir þeim, annars vegar óvissan um það hvaða sviðsmynd fari næst því að ganga eftir, og hins vegar er innan hvernar sviðsmyndar óvíst hversu mikil sjávarstöðuhækkun verður. Það er líklegt að betri mynd fáiist af þróuninni á næstu áratugum en rétt er að gæta varúðar meðan nákvæmari upplýsingar liggja ekki fyrir. Eins er óvíst hvort hraði landhæðarbreytinga og þeir þættir sem hafa áhrif á stærð og tíðni óveðursflóða (s.s. brautir og tíðni storma) haldist þeir sömu og á undanfórnum árum, líkt og gert er ráð fyrir við útreikninga til framtíðar. Loks er mikilvægt að hafa í huga að kortin hér sýna bæjarskipulag eins og það var upp úr 2020, en gera má ráð fyrir að skipulag taki breytingum á næstu áratugum og fram á næstu öld.

Þrátt fyrir ofangreinda annmarka er aðferðin ágætlega til þess fallin að uppfylla markmið verkefnisins, þ.e. að finna svæði þar sem sjávarflóðahætta kann að vera til staðar og skoða

hvernig hún gæti breyst í framtíðinni. Kortin sýna hvaða svæði eru viðkvæm fyrir óveðursflóðum og sjávarstöðubreytingum. Þau gefa mynd af því hvaða svæði eru ekki í hættu og hvar þarf að huga að hættunni. Til að meta hættuna í smáatriðum þarf hins vegar að ráðast í ítarlegri úttekt þar sem tekið er tillit til staðbundinna þátta og upphlaup flóða er reiknað. Þetta er sérstaklega mikilvægt fyrir staði þar sem vitað er að staðbundinn vindáhlaðandi og öldupáttur gætu verið vanmetnir, s.s. í Borgarnesi og Vík í Mýrdal.

Niðurstöðurnar fyrir Vík benda til þess að þar sé ekki aðkallandi flóðahætta fyrir hendi (sjá mynd 11). Eins og fyrr var nefnt taka útreikningar Delft3D-FM ekki tillit til öldupáttar og á sumum stöðum getur það valdið vanmati á hæð verstu flóða. Þetta er sérstaklega tilfinnanlegt á stöðum sem eru fyrir opnu hafi eins og gildir um Vík. Bent var á þetta í VÍ-2022, en í þeirri skýrslu var flóðahætta í Vík einnig vanmetin. Niðurstöðurnar hér breyta ekki fyrirvara sem gefin er í VÍ-2022 að: „Vík er dæmi um stað sem þörf er á að gert verði nákvæmt hættumat fyrir, þar sem uppgangur flóða er hermdur með líkani sem reiknar líka öldupátt og tekið er tillit til aðstæðna á svæðinu“.

Niðurstöður þessa verkefnis geta stutt notendur, s.s. skipulagsaðila, við ákvarðanatöku. Starfsemi eða byggð á þeim svæðum þar sem flóðahætta er nú fyrir hendi mun líklega þurfa á frekari sjóvörnum að halda í framtíðinni. Mikilvægt er að huga að því hvernig þeim verði best fyrir komið. Við skipulagsvinnu, t.d. ný hverfi, þarf að gera ráð fyrir mögulegum sjávarstöðubreytingum. Við slíka vinnu er mikilvægt að hafa þau miklu óvissumörk sem eru á niðurstöðunum í huga (sjá umræðu í kafla 2.4) og gera strax frá upphafi ráð fyrir sjóvörnum og að hægt væri að aðlagja þær ólíkum sviðsmyndum, reynist þess þörf. Sé það ekki hægt er ólíklegt að framkvæmdin verði til frambúðar og ástæða til að huga að framkvæmdinni sem slíkri. Það eru verulegir hagsmunir fyrir því að skipulag leiði ekki til öngstrætis þar sem fasteignir verði ótryggjanlegar eða ónýtar vegna tíðari sjávarflóða.

Heimildir

Berglind Pétursdóttir (2022). *Jöklabreytingar og sjávarstaða umhverfis Ísland*. Rannís – Lokaskýrsla.

— (2023). *Áhrif massataps Grænlandsísbreiðu á sjávarstöðu umhverfis Ísland* [BS ritgerð, Háskóli Íslands]. <http://hdl.handle.net/1946/44536>

Coles, S. (2001). *An introduction to statistical modelling of extreme values*. London: Springer.

Fox-Kemper, B, H T Hewitt, C Xiao, G Aðalgeirsdóttir, S S Drijfhout, T L Edwards, N R Golledge, M Hemer, R E Kopp, G Krinner, A Mix, D Notz, S Nowicki, I S Nurhati, L Ruiz, J.-B. Sallée, A B A Slangen og Y Yu (2021). Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. Í V Masson-Delmotte, P Zhai, A Pirani, S L Connors, C Péan, S Berger, N Caud, Y Chen, L Goldfarb, M I Gomis, M Huang, K Leitzell, E Lonnoy, J B R Matthews, T K Maycock, T Waterfield, O Yelekçi, R Yu og B Zhou (ritstj.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (bls. 1211–1362). Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781009157896.011.

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.

Halldór Björnsson, Bjarni D. Sigurðsson, Brynhildur Davíðsdóttir, Jón Ólafsson, Ólafur S. Ástþórsson, Snjólaug Ólafsdóttir, Trausti Baldursson, Trausti Jónsson (2018). *Loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi – Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar 2018*. Veðurstofa Íslands.

Halldór Björnsson, Guðrún Elín Jóhannsdóttir, Angel Ruiz Angulo, Kevin Dubois og Emil Snorri Árnason (2022). *Mat á endurkomutíma óveðursflóða reiknað með Delft3D-FM* (skýrsla nr. VÍ 2022-009). Veðurstofa Íslands. https://www.vedur.is/media/vedurstofan-utgafa-2022/Ovedursflod_Skyrsla_VI2022-009.pdf

Landmælingar Íslands (2020). *ÍslandsDEM útgáfa 1.0*. Lýsigagnagátt LMÍ. <https://gatt.natt.is/geonetwork/srv/ice/catalog.search#/metadata/e6712430-a63c-4ae5-9158-c89d16da6361>

Matthías Ásgeirsson, Tandri Gauksson Halldór Björnsson (2017). *Öfgagreining á flóðhæðum í Reykjavík og á Patreksfirði: Prófun á þröskuldsaðferð og samlíkum* (skýrsla nr. VÍ 2017-003). Veðurstofa Íslands. https://www.vedur.is/media/vedurstofan-utgafa-2017/VI_2017_003.pdf

NASA (á.á.). *Sea Level Projection Tool: IPCC 6th Assessment Report on Sea Level Projections*. <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>

Nikolai Nawri, Bolli Pálmason, Guðrún Nína Petersen, Halldór Björnsson & Sigurður Þorsteinsson (2017). *The ICRA atmospheric reanalysis project for Iceland* (skýrsla nr. VÍ 2017-005). Reykjavík: Veðurstofa Íslands. https://www.vedur.is/media/vedurstofan-utgafa-2017/VI_2017_005_rs.pdf

Seneviratne, S.I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Dereczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S.M. Vicente-Serrano, M. Wehner, and B. Zhou (2021). Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Í Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (ritstj.). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (bls. 1513–1766). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157896.013.

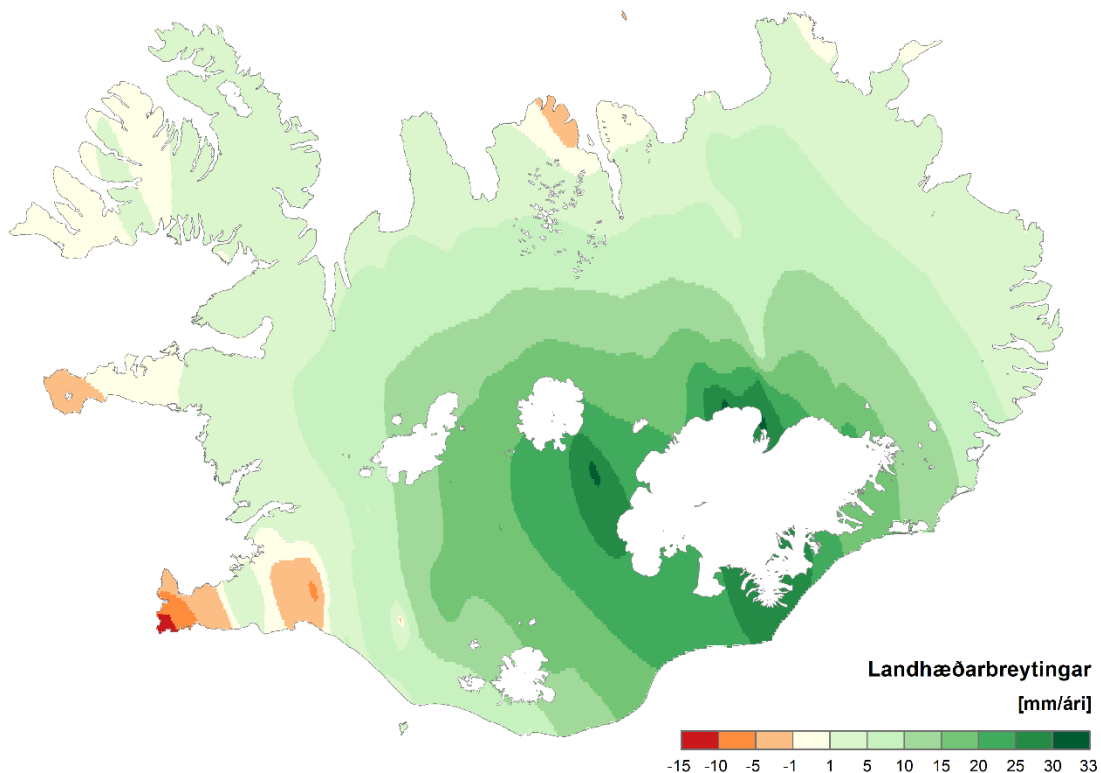
Theiler, J., Galdrikian, B., Longtin, A., Eubank, S. & Farmer, J. D. (1992). *Using Surrogate Data to Detect Nonlinearity in Time Series* (bls. 163-188). Í M. Casdagli, & S. Eubank, (ritstj.), *Nonlinear Modelling and Forecasting*. Santa Fe: Santa Fe Institute.

Veðurstofa Íslands (2025). *Loftslagsatlas Íslands* (útgáfa 1.0). <https://www.loftslagsatlas.is>

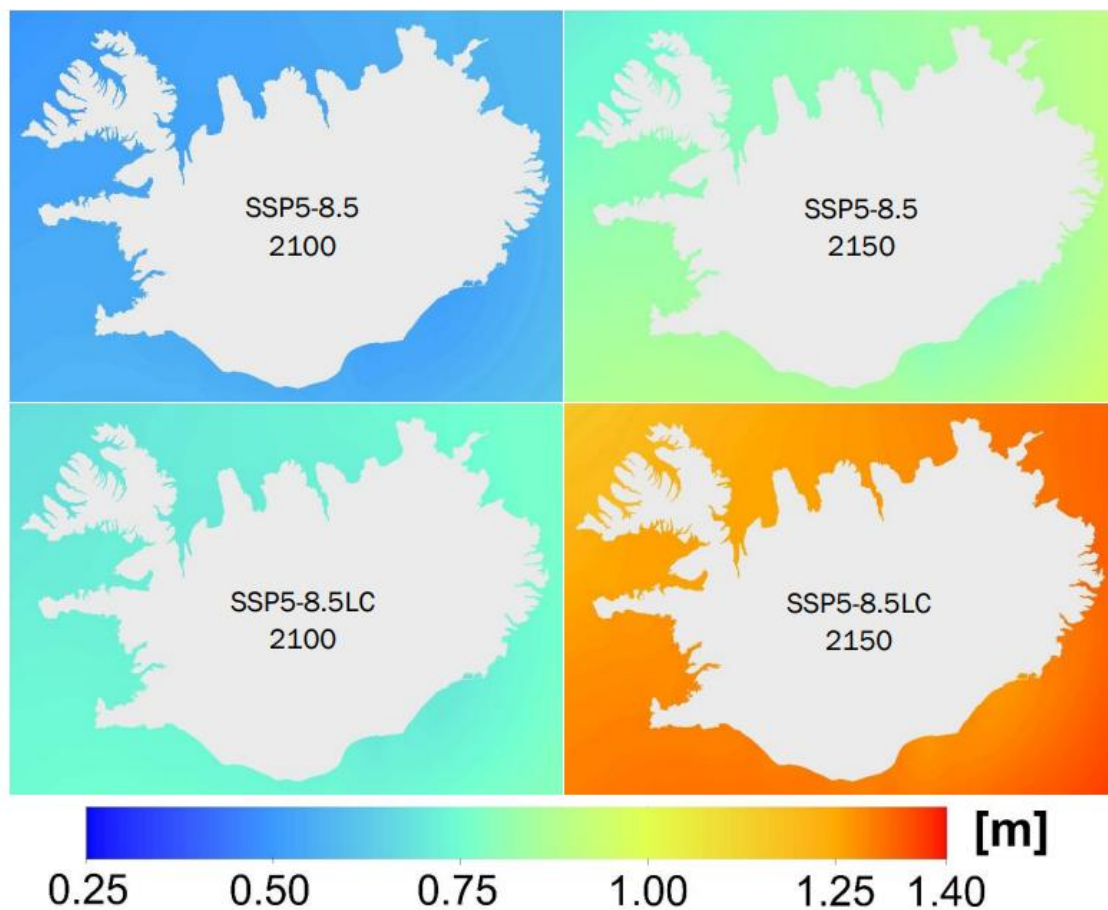
Viðauki I.

Tafla 1 gefur yfirlit yfir hraða landhæðarbreytinga (skv. mælingum LMÍ 2004–2022, sjá mynd 12), hæð viðmiðunarflóðs við núverandi aðstæður (í hæðarkerfinu ISH2004, sjá myndir 1 til 3) og eiginlegar sjávarstöðubreytingar skv. sviðsmyndunum tveimur til árána 2100 og 2150 (sjá mynd 13) í hverjum byggðarkjarna við ströndina að Grindavík undanskilinni. Gildin í töflunni eru punktgildi nærri höfnum hvers staðar fyrir sig en stærðirnar geta verið smávægilega ólíkar innan hvers byggðarkjarna. Mynd 14 sýnir yfirlit yfir þá byggðarkjarna sem finna má tölur fyrir í töflu 1 og sem finna má sérstök kort af í fylgiskjöllum og Loftslagsatlas Íslands. Öll strandsvæði landsins sjást á yfirlitskortum í fylgiskjöllum og í Loftslagsatlasinum. Tafla 2 sýnir yfirlit yfir fylgiskjöl skýrslunnar. Hægt er að sækja útbreiðslufláka fyrir öll 15 viðmiðunarflóðin á Loftslagsatlas Íslands (Veðurstofa Íslands, 2025).

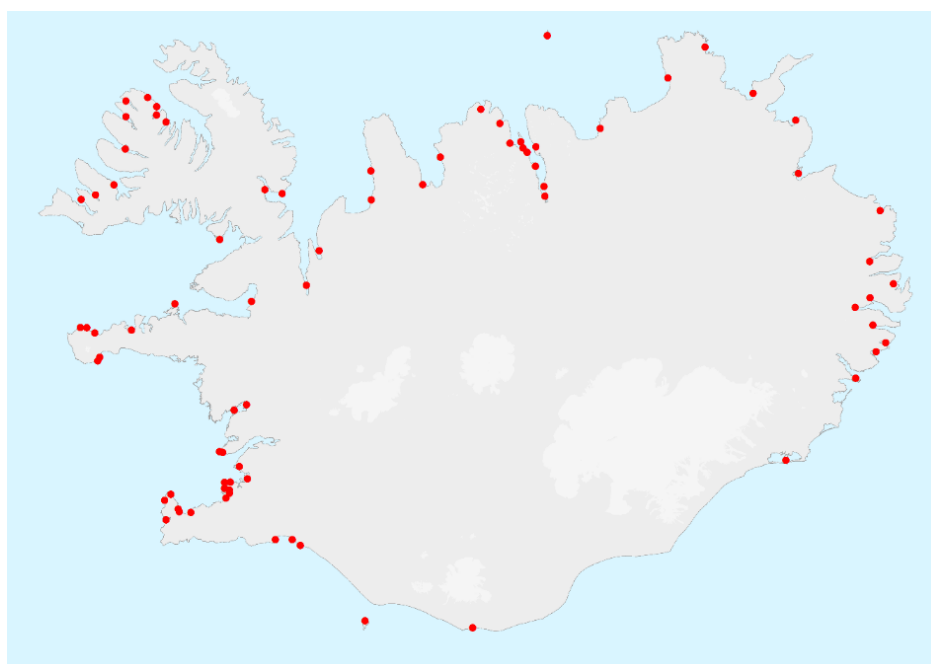
Niðurstöðurnar voru kortlagðar með því að leggja saman endurkomuhæð sjávarflóðs við núverandi aðstæður í hæðarkerfinu ISH2004 og sjávaryfirborðsbreytingu m.v. viðkomandi sviðsmynd þegar það átti við. Hæðarlíkanið ÍslandsDEM (Landmælingar Íslands, 2020) var notað til grundvallar landhæðar við núverandi aðstæður og við það var lögð landhæðarbreyting m.v. óbreyttan hraða landhæðarbreytinga. Í töflu 1 er því hægt að finna tölur sem notaðar voru við útreikninga fyrir hvern byggðarkjarna fyrir sig. Nánari útlistun á útreikningum má finna í viðauka II.



Mynd 12 Kort af landhæðarbreytingum (lóðréttum færslum) byggt á gögnum Landmælinga Íslands á tímabilinu 2004 til 2022.



Mynd 13 Eiginlegar sjávarstöðubreytingar til áranna 2100 og 2150 m.v. sviðsmyndir SSP5-8.5 og SSP5-8.5LC, frá viðmiðunartímabilinu 1995–2014. Gert er ráð fyrir massatapi jökla og ísbreiða, fingrafari jöklabráðunar og varmaþenslu sjávar.



Mynd 14 Staðsetning þeirra byggðarkjarna sem finna má sérstök kort af í fylgiskjöllum og Loftslagsatlasí Íslands og tölur fyrir í töflu 1.

Tafla 1 Hraði landhæðarbreytinga, hæð viðmiðunarflóðs með þrjá ólíka endurkomutíma við núverandi aðstæður í hæðarkerfinu ISH2004 (h_{20} , h_{50} og h_{200}) og eiginleg sjávarborðshækkun til 2100 m.v. SSP5-8.5, til 2100 m.v. SSP5-8.5LC, til 2150 m.v. SSP5-8.5 og til 2150 m.v. SSP5-8.5LC (frá viðmiðunartímabilinu 1995–2014) í einum punkti við alla byggðarkjarna við ströndina nema Grindavík. Lesa má um aðferðafræði í viðauka II.

Byggðarkjarni	Landhæðar- breytingar (mm/ár)	h_{20} (m)	h_{50} (m)	h_{200} (m)	2100 SSP5-8.5 (m)	2100 SSP5-8.5LC (m)	2150 SSP5-8.5 (m)	2150 SSP5-8.5LC (m)
Hafnir	-7.1	2.62	2.72	2.87	0.46	0.64	0.75	1.22
Sandgerði	-3.7	2.71	2.81	2.97	0.46	0.64	0.75	1.23
Garður	-2.7	2.83	2.93	3.10	0.46	0.64	0.75	1.23
Keflavík	-4.2	2.89	2.99	3.16	0.45	0.63	0.74	1.21
Njarðvík	-4.6	2.89	2.99	3.16	0.45	0.63	0.74	1.21
Vogar	-3.7	2.88	2.98	3.16	0.45	0.63	0.74	1.21
Hafnarfjörður	3.4	2.91	3.00	3.16	0.45	0.63	0.74	1.22
Álftanes	2.1	2.91	3.01	3.18	0.45	0.63	0.74	1.22
Garðabær	2.0	2.91	3.01	3.18	0.45	0.63	0.74	1.22
Kópavogur	1.2	2.91	3.01	3.18	0.45	0.63	0.74	1.22
Reykjavík	0.7	2.94	3.03	3.19	0.46	0.64	0.75	1.23
Seltjarnarnes	1.2	2.91	3.01	3.19	0.45	0.63	0.74	1.22
Mosfellsbær	0.2	2.94	3.04	3.20	0.45	0.63	0.74	1.22
Grundarhverfi	1.1	2.94	3.05	3.21	0.45	0.63	0.74	1.22
Innnes	1.5	2.92	3.01	3.18	0.45	0.63	0.74	1.21
Akranes	1.5	2.91	3.01	3.18	0.45	0.63	0.74	1.21
Hvanneyri	2.8	2.91	3.01	3.18	0.44	0.62	0.72	1.19
Borgarnes	2.4	2.91	3.01	3.18	0.45	0.63	0.74	1.21
Arnarstapi	-1.4	2.89	3.02	3.23	0.45	0.63	0.72	1.19
Hellnar	-1.5	2.87	2.99	3.20	0.45	0.63	0.72	1.19
Hellissandur	-1.2	2.77	2.87	3.03	0.44	0.62	0.70	1.16
Rif	-1.1	2.80	2.90	3.06	0.44	0.62	0.70	1.16
Ólafsvík	-1.1	2.82	2.91	3.09	0.44	0.62	0.71	1.18
Grundarfjörður	-0.4	2.96	3.06	3.23	0.44	0.62	0.71	1.18
Stykkishólmur	0.5	3.09	3.19	3.35	0.44	0.62	0.70	1.17
Búðardalur	3.2	3.31	3.44	3.64	0.44	0.62	0.70	1.17
Reykhólar	0.4	3.26	3.38	3.59	0.44	0.62	0.70	1.17
Patreksfjörður	0.7	2.52	2.64	2.86	0.43	0.61	0.69	1.15
Tálknafjörður	0.7	2.52	2.65	2.86	0.43	0.61	0.68	1.14
Bíldudalur	0.9	2.38	2.50	2.70	0.43	0.61	0.69	1.15
Pingeyri	1.2	2.35	2.47	2.68	0.43	0.60	0.68	1.14
Flateyri	0.9	2.14	2.25	2.43	0.41	0.59	0.65	1.10
Suðureyri	0.8	2.10	2.21	2.40	0.41	0.59	0.65	1.10
Bolungarvík	0.3	1.95	2.05	2.22	0.42	0.59	0.65	1.11
Hnífsdalur	-0.1	1.96	2.06	2.23	0.42	0.60	0.68	1.13
Ísafjörður	-0.8	1.96	2.05	2.22	0.42	0.60	0.66	1.12
Súðavík	0.7	1.97	2.07	2.26	0.42	0.60	0.67	1.12
Drangsnes	2.2	1.37	1.44	1.55	0.43	0.61	0.69	1.16
Hólmavík	2.6	1.39	1.47	1.60	0.43	0.61	0.69	1.16

Byggðarkjarni	Landhæðar- breytingar (mm/ár)	h ₂₀ (m)	h ₅₀ (m)	h ₂₀₀ (m)	2100 SSP5-8.5 (m)	2100 SSP5-8.5LC (m)	2150 SSP5-8.5 (m)	2150 SSP5-8.5LC (m)
Borðeyri	4.9	1.49	1.58	1.75	0.43	0.61	0.70	1.16
Hvammstangi	4.7	1.39	1.47	1.59	0.43	0.61	0.70	1.16
Blönduós	4.3	1.37	1.44	1.55	0.43	0.61	0.70	1.16
Skagatrönd	3.2	1.35	1.42	1.52	0.43	0.61	0.70	1.16
Sauðárkrókur	3.6	1.31	1.38	1.49	0.43	0.61	0.70	1.16
Hofsós	2.6	1.31	1.38	1.49	0.43	0.61	0.69	1.16
Siglufjörður	-1.3	1.26	1.32	1.42	0.44	0.62	0.71	1.18
Ólafsfjörður	-2.7	1.27	1.33	1.43	0.44	0.62	0.71	1.18
Dalvík	-0.8	1.27	1.34	1.44	0.44	0.62	0.71	1.18
Hrísey	-0.1	1.26	1.33	1.44	0.44	0.62	0.71	1.18
Árskógssandur	0.3	1.27	1.34	1.45	0.44	0.62	0.71	1.18
Hauganes	0.6	1.28	1.35	1.46	0.44	0.62	0.71	1.18
Hjalteyri	1.6	1.30	1.37	1.48	0.44	0.62	0.71	1.18
Akureyri	3.5	1.34	1.41	1.52	0.44	0.62	0.71	1.18
Svalbarðseyri	3.0	1.32	1.39	1.50	0.42	0.60	0.69	1.16
Grenivík	0.8	1.27	1.34	1.45	0.43	0.61	0.71	1.18
Grímsey	-2.7	1.24	1.31	1.42	0.45	0.63	0.73	1.20
Húsavík	3.0	1.27	1.33	1.43	0.44	0.62	0.71	1.19
Kópasker	3.1	1.29	1.35	1.45	0.45	0.64	0.74	1.21
Raufarhöfn	0.6	1.33	1.40	1.51	0.46	0.64	0.75	1.23
Pórshöfn	1.9	1.36	1.44	1.55	0.47	0.65	0.77	1.25
Bakkafjörður	1.4	1.36	1.43	1.57	0.47	0.65	0.77	1.25
Vopnafjörður	0.9	1.35	1.43	1.56	0.47	0.65	0.77	1.25
Bakkagerði	0.9	1.35	1.42	1.52	0.47	0.65	0.78	1.26
Seyðisfjörður	2.9	1.40	1.49	1.65	0.47	0.65	0.77	1.26
Neskaupstaður	3.0	1.33	1.41	1.55	0.48	0.66	0.80	1.28
Eskifjörður	3.6	1.49	1.58	1.73	0.46	0.65	0.77	1.25
Reyðarfjörður	4.4	1.54	1.64	1.82	0.48	0.66	0.79	1.28
Fáskrúðsfjörður	4.0	1.51	1.59	1.75	0.46	0.64	0.76	1.24
Stöðvarfjörður	3.8	1.55	1.65	1.81	0.47	0.65	0.78	1.27
Breiðdalsvík	4.4	1.60	1.69	1.85	0.47	0.65	0.77	1.26
Djúpivogur	5.4	1.74	1.85	2.05	0.44	0.63	0.73	1.22
Höfn	14.0	1.92	2.03	2.23	0.43	0.61	0.71	1.19
Vík	5.1	2.11	2.21	2.37	0.44	0.62	0.73	1.22
Vestmannaeyjabær	3.3	2.18	2.27	2.43	0.46	0.64	0.76	1.24
Stokkseyri	-0.3	2.38	2.49	2.65	0.45	0.63	0.74	1.21
Eyrarbakki	-1.8	2.41	2.52	2.69	0.46	0.64	0.75	1.23
Þorlákshöfn	-1.3	2.43	2.55	2.74	0.46	0.64	0.75	1.23

Tafla 2 Yfirlit yfir þá byggðarkjarna sem finna má sérstök kort af í hverju fylgiskjali fyrir sig. Byggðarkjörnum er raðað í röð réttisælis umhverfis landið.

Nafn fylgiskjals	Byggðarkjarnar frá og með	Byggðarkjarnar til og með
Yfirlitskort		
Höfuðborgarsvæðið	Hafnarfjörður	Grundarhverfi
Vesturland	Akranes	Búðardalur
Vestfirðir	Reykholar	Hólmavík
Norðvesturland	Borðeyri	Hofsós
Norðausturland	Siglufjörður	Bakkafjörður
Austurland	Vopnafjörður	Djúpivogur
Suðurland og Suðurnes	Höfn í Hornafirði	Vogar

Viðauki II.

Aðferðum við útreikninga viðmiðunarflóðhæða við núverandi aðstæður er lýst í grein 2.1. Við þau viðmiðunarflóð voru lagðar ólíkar sviðsmyndir framtíðarsjávarborðsbreytinga (F) byggðar á sjöttu matsskýrslu IPCC (Fox-Kemper o.fl., 2021) og mati Vísindanefndar um loftslagsbreytingar (VÍ-2023). Tvöhundruð ára endurkomuhæð framtíðarflóða (h_{200f}) má því lýsa sem

$$h_{200f} = h_{200} + F$$

þar sem h_{200} er endurkomuhæð 200 ára flóðs við núverandi aðstæður. h_{20} , h_{50} og h_{200} eru gefin upp í dálkum 2 til 4 í töflu 1 og F er gefið upp í fjórum síðustu dálkunum.

Framtíðarsjávarborðshækkunin sem notuð var er samsett úr tveimur þáttum, þ.e. sjávaryfirborðsbreytingu (N) og varmapenslu (V). Sjávaryfirborðsbreytingin í kringum Ísland var reiknuð með SELEN líkaninu (Berglind Pétursdóttir, 2022), en þessi þáttur lýsir því hvernig aukið magn sjávar vegna bráðnunar ísbreiða og jökla dreifist um jörðina. Varmapenslupátturinn lýsir því hvernig rúmmál sjávar eykst vegna hækkandi hitastigs. Gert var ráð fyrir að sá þáttur væri jafn stór umhverfis landið og notað var miðgildi útreikninga IPCC fyrir Reykjavík (NASA, á.á.), eða 44 cm til ársins 2100 og 77 cm til ársins 2150. Í samræmi við Fox-Kemper o.fl. (2021) er þessi hækkun reiknuð frá meðaltali áranna 1995–2014.

Endurkomuhæð framtíðarflóða má því einnig lýsa sem

$$h_{200f} = h_{200} + N + V$$

Útreikningarnir voru framkvæmdir í ArcGIS forritinu. Við útreikninga á dýpt framtíðarflóða á landi var aðferð næstu nágranna (e. nearest neighbor) beitt til þess að bryggja flóðahæðina inn á land. Hæð framtíðarflóðsins var síðan borin saman við framtíðarlandhæð til þess að finna dýpt flóðsins á hverjum stað. Framtíðarlandhæðin var fundin með því að leggja saman núverandi landhæð (L), þ.e. landhæðarlíkanið ÍslandsDEM (Landmælingar Íslands, 2020) og landhæðarbreytingar (U). Til að reikna landhæðarbreytingarnar var gert ráð fyrir því að hraði landhæðarbreytinga sé fasti, þ.e. að landið rísi og sígi á sama hraða og verið hefur að meðaltali undanfarin ár. Upplýsingar um meðallandhraðabreytingar á árunum 2004 til 2022 fengust frá Landmælingum Íslands (sjá mynd 12). Við útreikninga á framtíðarlandhæðarbreytingum var árið 2020 notað sem viðmiðunarár, sama ár og ÍslandsDEM var gefið út. Þannig var reiknað með 80 árum til ársins 2100 og 130 árum til 2150. Hraði landhæðarbreytinga er gefinn upp í fyrsta dálki töflu 1.

Dýpt framtíðarflóða á landi (d_{200f}) má lýsa með

$$d_{200f} = h_{200} + N + V - (L + U)$$

eða

$$d_{200f} = h_{200} + F - (L + U)$$

Útbreiðsla flóðanna var svo fundin með því að finna þau svæði þar sem dýptin er >0 . Þar sem mikil óvissa fylgir útreikningunum er óráðlegt að taka dýptartölur bókstaflega og vissara að skoða útbreiðsluna með óvissuna í huga.

Tafla 1 sýnir tölur fyrir byggðarkjarna við ströndina. Taflan sýnir hæð óveðursflóða við núverandi aðstæður (h_{20} , h_{50} , h_{200}) í metrum, hraða landhæðarbreytinga (U) í mm/ári og sjávarstöðuhækkun fyrir sviðsmýndirnar SSP5-8.5 og SSP5-8.5LC árið 2100 og 2150 í metrum. Hæð óveðursflóðanna (h_{20} , h_{50} , h_{200}) er í ISH2004 hæðarkerfinu og reikna má hæð óveðursflóða í framtíðinni með því að bæta sviðsmýndarhækkun við og reikna svo landhæðarbreytingar eins og lýst er að ofan. Þetta má í raun gera fyrir hvaða ár sem er fram til 2150 með því að brúa sviðsmýndartölur og leggja við landhæðarbreytingar frá 2020.