



100 ára sjávarhæð við Íslandsstrendur

Halldór Björnsson og Guðrún Elín Jóhannsdóttir

Inngangur

Á Veðurstofunni hefur um nokkurt skeið verið unnið að verkefni um hættumat á sjávarflóðahættu og breytingum á henni vegna loftslagsbreytinga

Verkefninu má skipta niður í eftirfarandi þætti

1. Flóðahætta við núverandi aðstæður
2. Breytingar á sjávarstöðu vegna loftslagsbreytinga
3. Breytingar á flóðahættu samfara loftslagsbreytingum
- (4. Einstaka sjávarflóð vegna náttúruhamfara, s.s. Kötluhlaups)

Að verkefninu hafa unnið: Angel Ruiz Angulo, Kevin Dubois, Guðrún Elín Jóhanndóttir, Matthías Ásgeir Jónsson, Tandri Gauksson, Björn Erlingsson, Hjörtur Þorgeirsson, Berglind Pétursdóttir og Halldór Björnsson

Verkefnið hefur verið unnið á vegum Ofanflóðasjóðs, en einstakir þættir studdir af Vegagerðinni, Vaxtarsamningi Vestfjarða, Nýsköpunarsjóði og fleirum

Hér verður fjallað um lið 1 og mat/kortlagningu á því flóði sem hefur 1% árslíkur,

s.n. 100 ára flóði: **h₁₀₀**

Flóðahætta við núverandi aðstæður

Á síðustu öld voru um 6 markverð flóð á hverjum áratug við Íslandsstrendur.

Fleiri skráð flóð á Suður- og Vesturlandi en á Norður og Austurlandi og algengari að vetri en sumri.

Langtímaröð mælinga á sjávarstöðu er til fyrir Reykjavík og að auki hefur sjávarstaða verið mæld í nokkrum höfnum við ströndina

Þær mælingar eru þó ekki gerðar með langtímaeftirlit í huga, það vantar net mæla tengt GPS mælingum svo hægt sé að fylgjast með muninum afstæðri og raunhækkun (eða lækkun!) sjávar. Þetta stendur þó eitthvað til bóta. Fjármagn á VÍ er fyrir uppsetningu amk 3 nýrra mæla og uppsetning þeirra er hafin. Vegagerðin hyggur einnig á uppsetningu mæla og lagfæringu núverandi nets.

Byggt á góðum mælingum má reikna hæð 100 ára flóðs eða skylda tölfræði

Flóð með 1% árslíkur - 100 ára flóð

Nokkrar ólíkar aðferðir við mat

Byggt á útgildatölfræði (Extreme Value Statistics)

Fæst gildi eru útgildi svo það þarf langar vandaðar tímaraðir

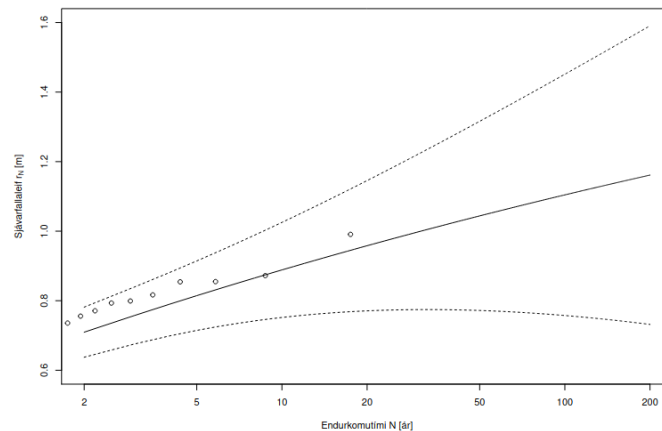
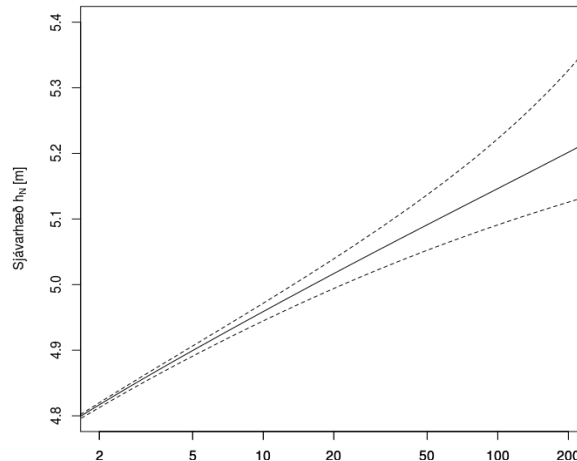
Ef mælingar eru notaðar beint þá flækja sjávarföll málið – Útgildi vegna óveðra geta hitt á lágflæði og ekki ratað á topp listann

Þurfum að greina “leifina” – og aðgreina sjávarföll frá röðinni

Ekki einfalt en niðurstöður stöðugar ef röð nógu góð.

Tafla 3. Hundrað ára endurkomugildum í Reykjavík og á Patreksfirði með neðri og efri mörkum. GEV: Aðferð árshámarna, POT: Þröksuldsaðferð, JP: Samlíkur

Aðferð	Reykjavík			Patreksfjörður		
	100 ár [m]	Neðri [m]	Efri [m]	100 ár [m]	Neðri [m]	Efri [m]
GEV	5,108	4,912	5,304	-	-	-
POT	5,094	4,942	5,246	4,464	3,854	5,075
Leif (POT)	1,104	0,757	1,451	1,170	0,726	1,614
JP	5,146	5,091	5,222	4,254	4,142	4,461

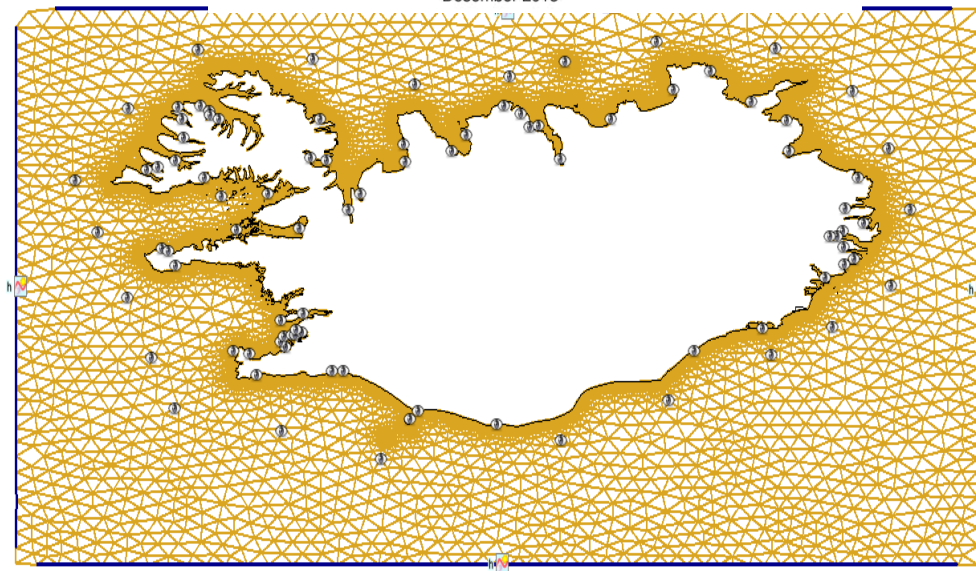
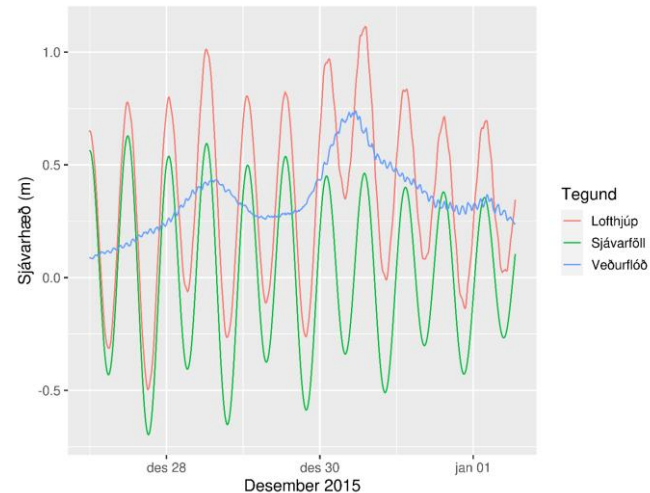


En afgangurinn af landinu?

Notum Deltares Delft3D-FM líkanið og leysum SWE (grunnvatnsjöfnur) á neti umhverfis landið

Notum endurgreiningu VÍ (ICRA) fyrir vind og loftþrýsting (uppfært á klukkutíma fresti), sjávarfallamætti miðað við uppfært FES2014

20 ár keyrð með sjávarföllum, loftþrýstingi og vindi, og svo endurtekið með sjávarföllum eingöngu. Mismunur þessa gefur leifina

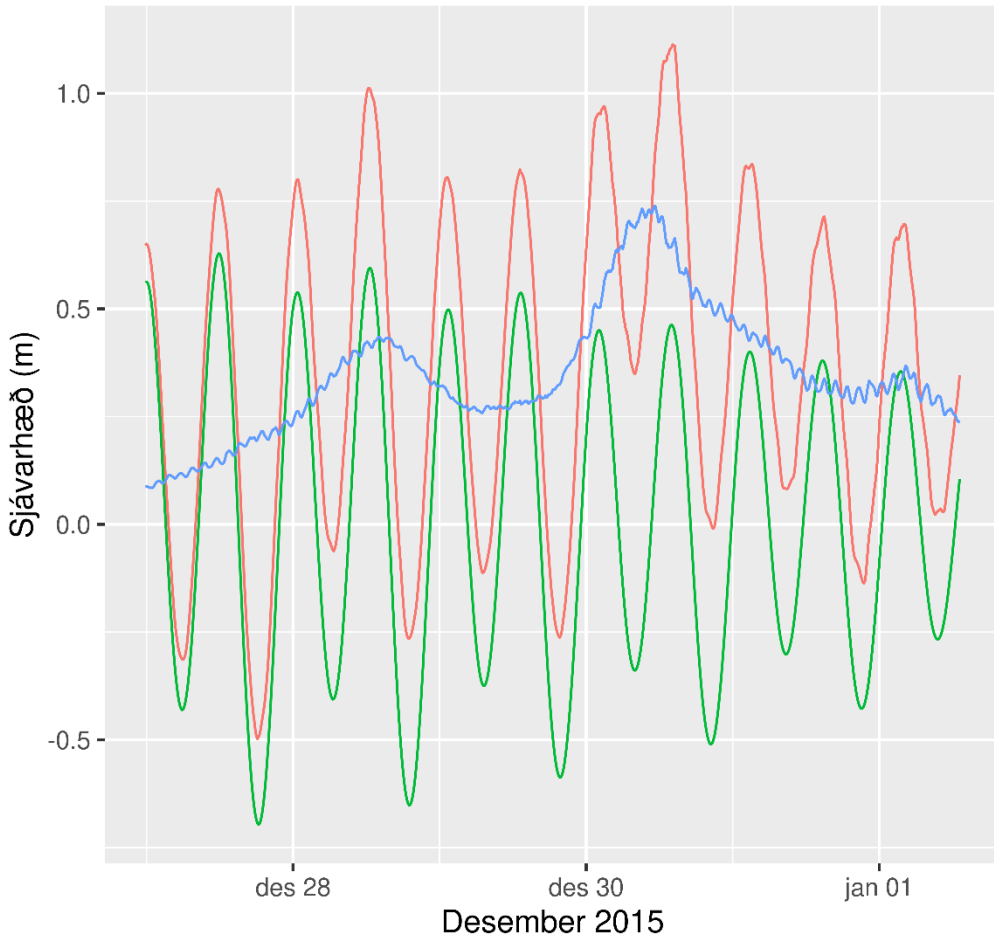


En afga

Notum Deltares
(grunnavatnsjöfn

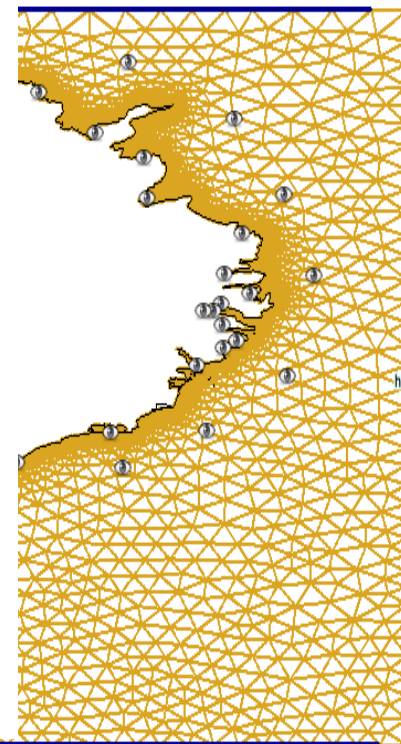
Notum endurgre
loftþrýsting (upp
sjávarfallamætti

20 ár keyrð með
og svo endurtek
Mismunur þessa



Tegund

- Lofthjúp
- Sjávarföll
- Veðurflóð



Mat á 100 ára flóði umhverfis landið

Útreikningar líkansins eru vistaðir í 90 punktum umhverfis landið á 10 mín fresti

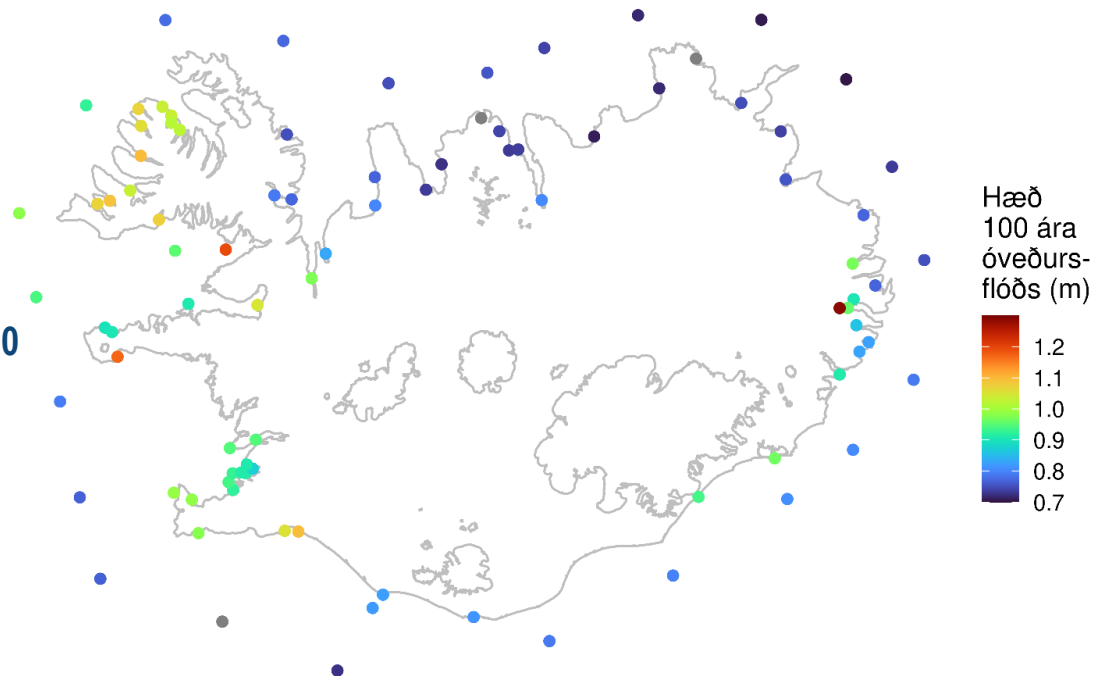
Reiknuð tímaröð af leifarinnar í hverjum punkti og niðurstöður notaðar til að reikna 100 ára flóð

Niðurstöður svipaðar fyrir ólíkar aðferðir (GEV [MMom, MLE], POT) en óvissa parametrum nokkur þegar 21 (1996 – 2016) ár eru notuð til að reikna 100 ára mat.

Gildin eru lægri en mælingar í Reykjavík (15 cm) en svipað á Patró (3 cm lægra)

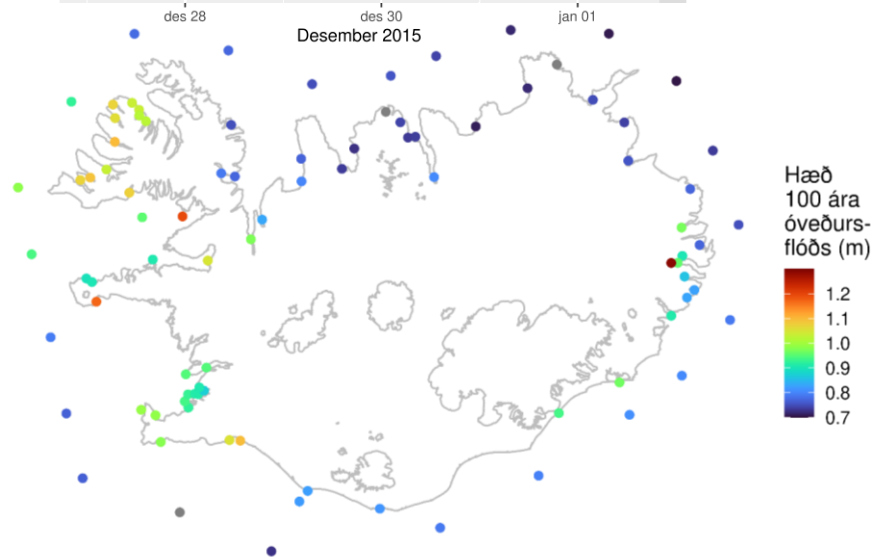
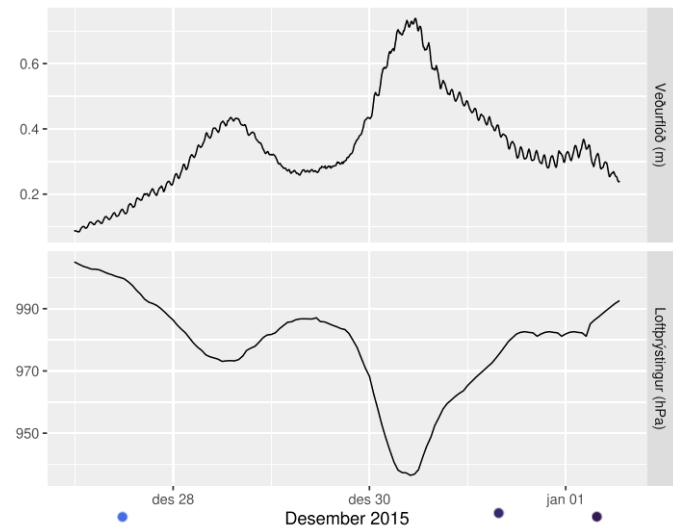
Nokkrir óvissuþættir sem taka þarf tillit til

Til að meta hæðina á hverjum stað þarf svo að liða þetta saman við sjávarföll



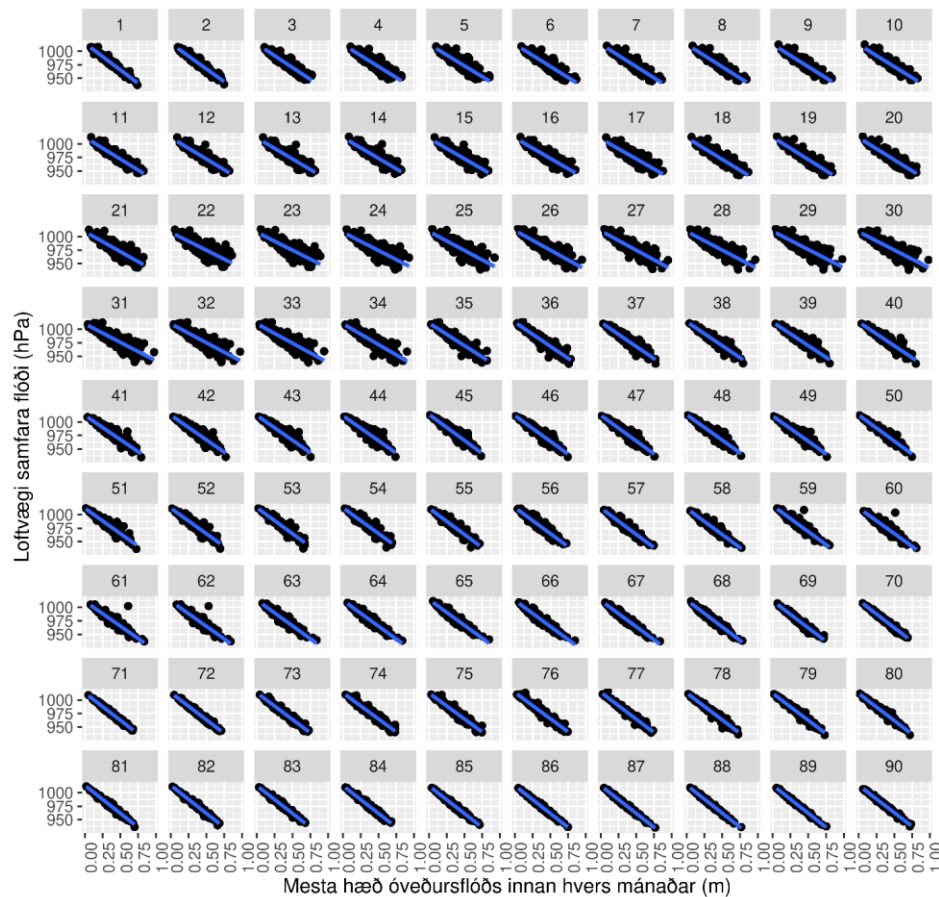
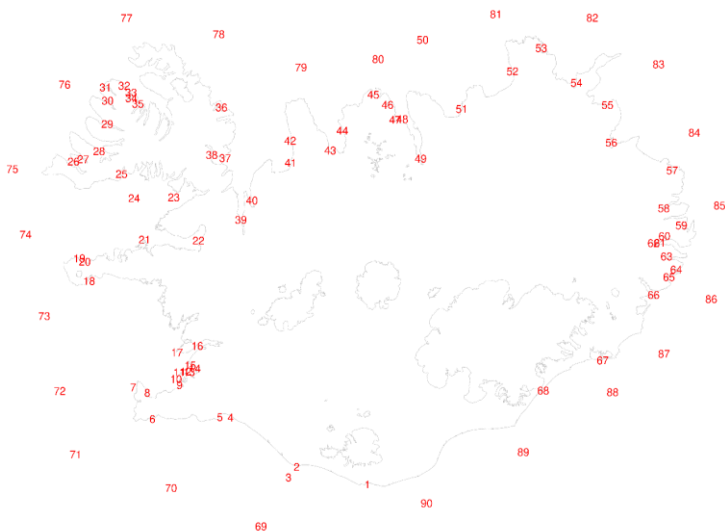
Óvissuþættir sem hafa áhrif á mat 100 ára flóðahæðar

- Loftvægi hefur ráðandi áhrif á hæð flóða á flestum stöðum
 - Tímabilið 1996 – 2016 inniheldur ekki lægsta loftþrýsing sem átt mælst hefur (820 hPa, 1929). Hæsta sjávarstaða er um 0.96 cm hærri fyrir hverja 1 hPa lækkun þrýstings lágmarks
- Eru 21 ár nægilega langur tími til að meta 1% árslíkur ?
- Veðurtengt 100 ára flóð metið frá leifinni gæti hitt á sjávarföll þannig þau hafi lítil áhrif!
 - Útslag sjávarfallabylgjunnar er mun hærra vestan lands en austan en hæð 100 ára óveðursflóðsins sýnir ekki slíkt



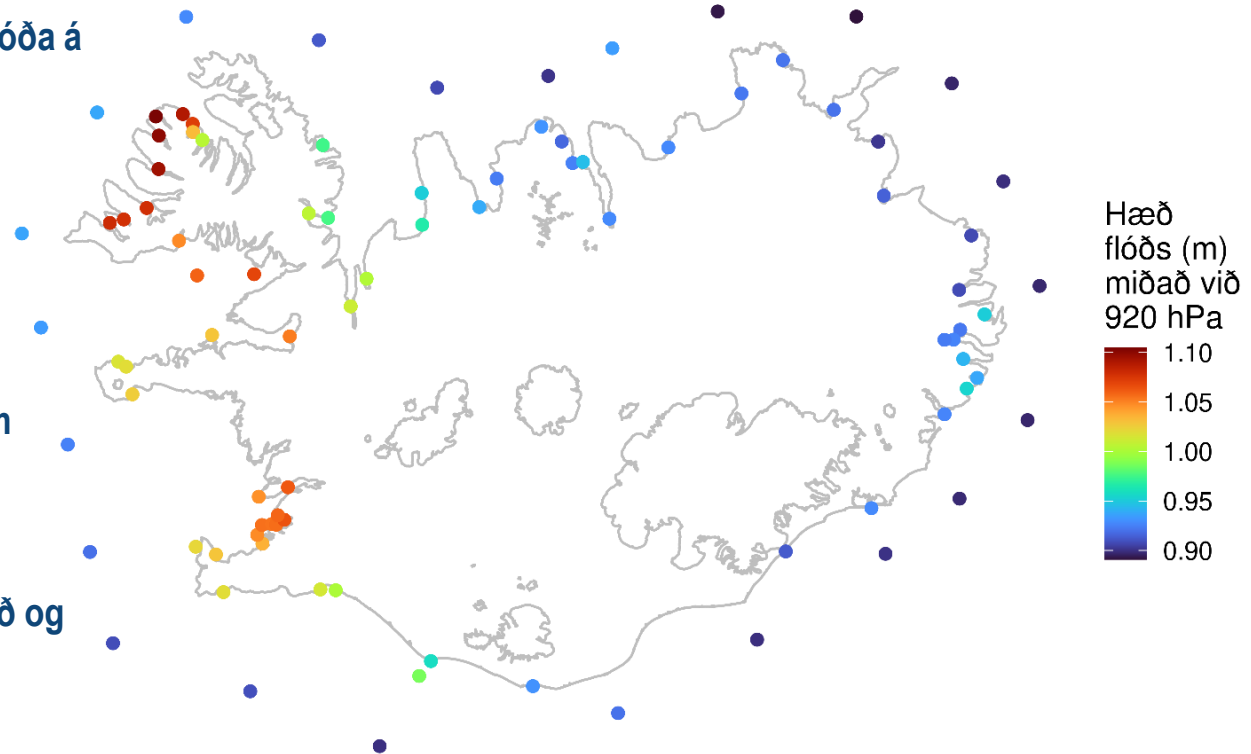
Óvissupættir: Loftvægi

- Loftvægi hefur ráðandi áhrif á hæð flóða á flestum stöðum
- Svörun líkansins er línuleg móti loftvægi
- á flestum stöðvum.



Óvissupættir: Loftvægi

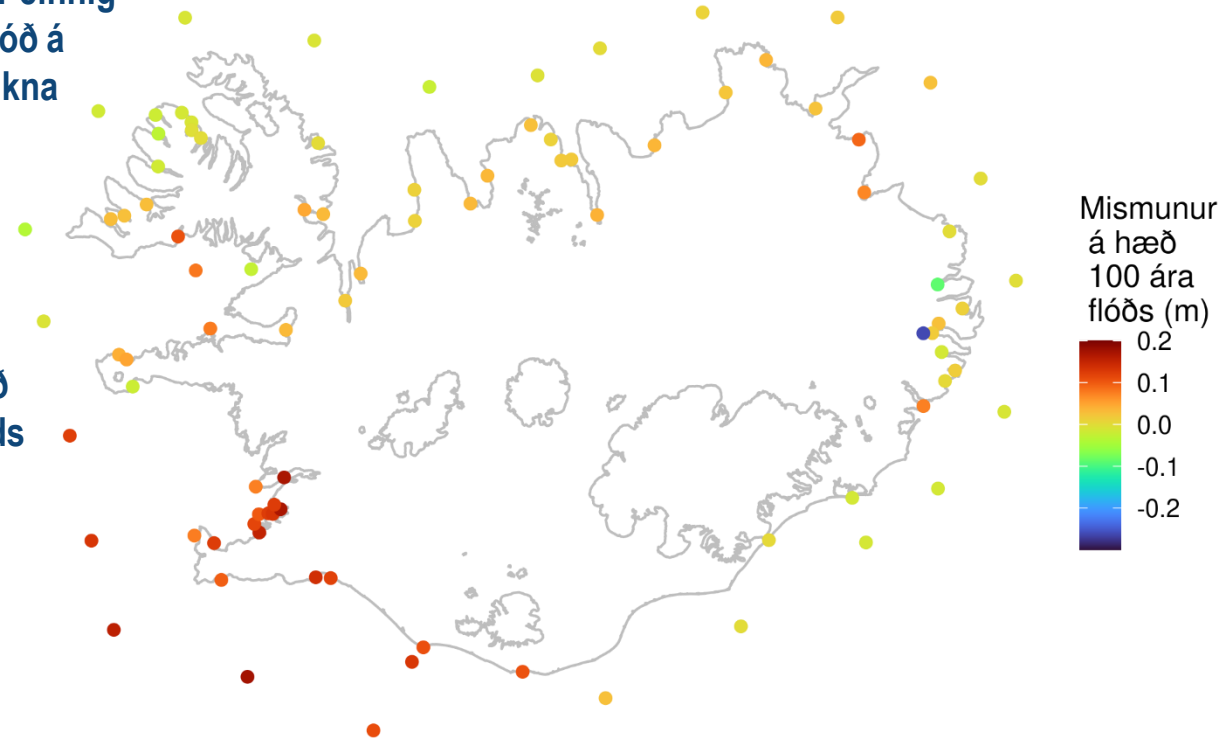
- Loftvægi hefur ráðandi áhrif á hæð flóða á flestum stöðum
- Svörun líkansins er línuleg móti loftvægi á flestum stöðvum
- Kort af hæð miðað við 820 hPa er ekki mikið hærra en 100 ára flóðið nema við norðurströndina þar sem hæðin er 0.15 til 0.30 m hærra að jafnaði
- Staðfræðileg dreifing er áhugaverð og mætti ræða í löngu máli



Óvissupættir: Lengd raðar

- Tímabilið 1996 – 2016 kann að vera of stutt svo áreiðanleiki tölfræði óveðursflóða var einnig reiknaður með því að meta óveðursflóð á tímabilinu 1981 – 1995 með því að reikna flóðahæðina beint, en án sjávarfalla

Þegar þessum mælingum hafði verið bætt við breyttist 100 ára flóðið lítið (innan við 0.1 m) nema SV lands, þar sem nokkur slæm óveður bættust við höfðu staðbundið slæm áhrif SV lands



Óvissupættir: Sjávarföll

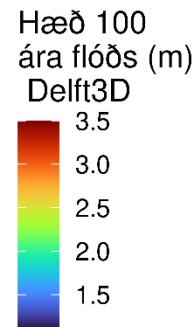
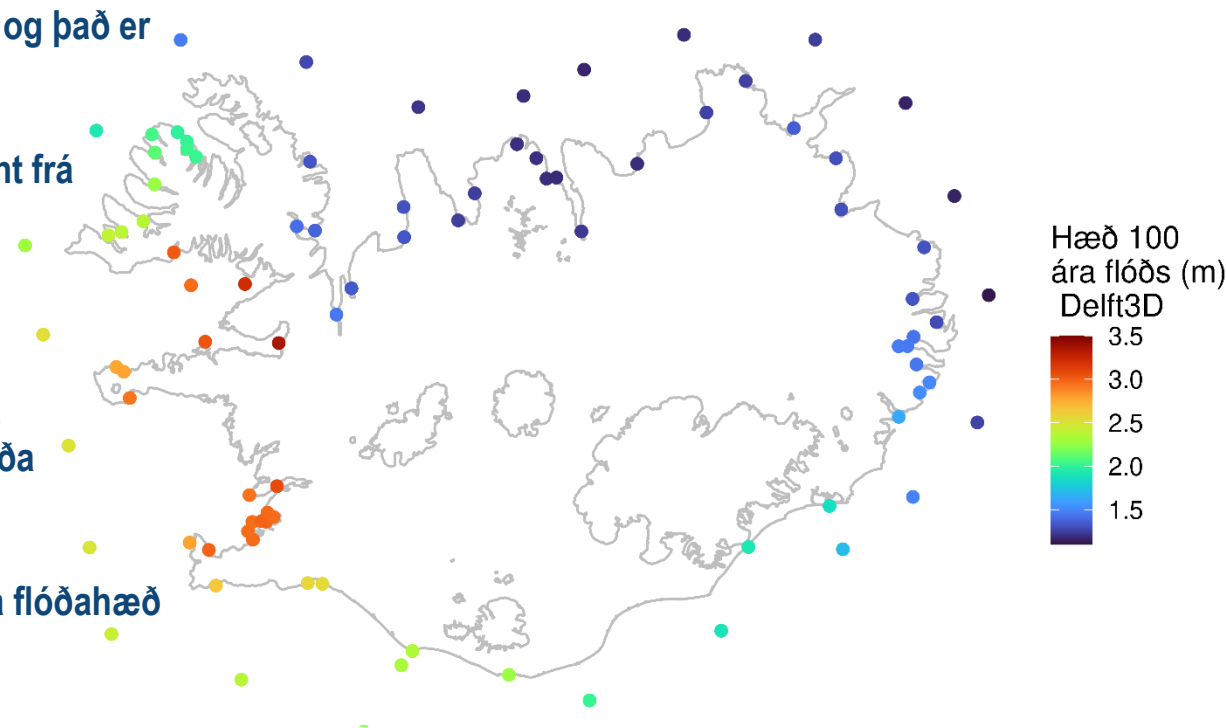
Hámark óveðursflóð tekur ekki langan tíma og það er hendingu háð hvernig það hittir á sjávarföll

Hægt er að reikna hæð 100 ára flóðsins beint frá reikningum þar sem sjávarföll eru meðtalin en slíkt gefur bjagaða mynd

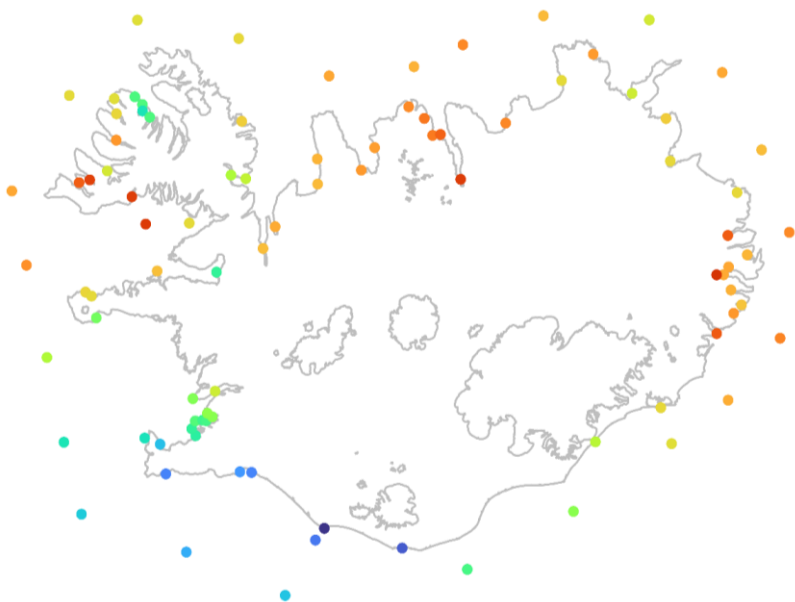
Til að reikna samlíkur sjávarfalla og flóða var slembifasaaðferð Theiler ofl (1992) beitt til að reikna 500 staðgönguraðir óveðursflóða á hverjum stað

Hver röð var lögð við sjávarföllin og 100 ára flóðahæð (h_{100}) endurmetin

Þetta gaf dreifingu 500 h_{100} gilda sem hægt var að kortleggja



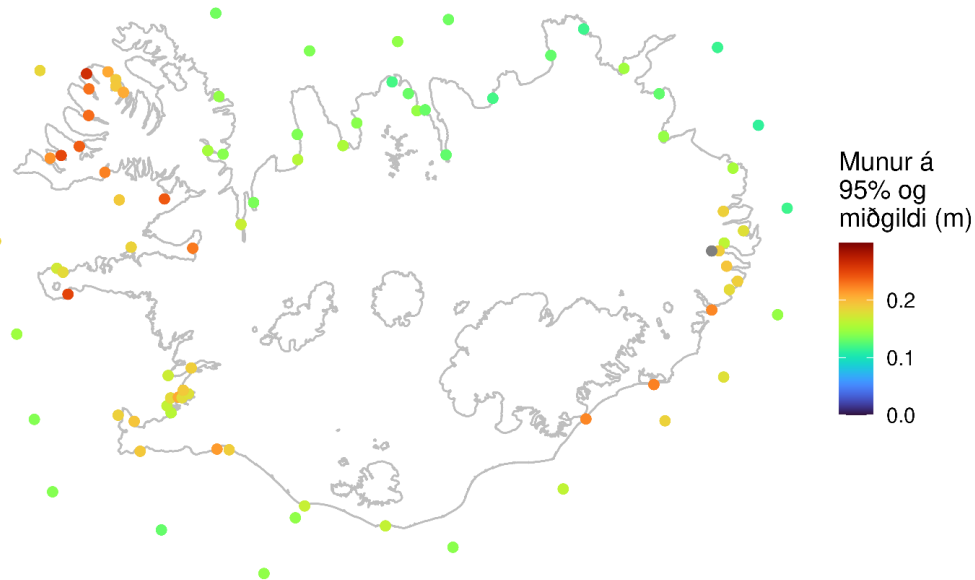
Óvissupættir: Sjávarföll



Miðgildi h_{100} með 500
staðgönguröðum
mínus upphafleg h_{100} gildi

Munur
á hæð
flóða (m)

0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2



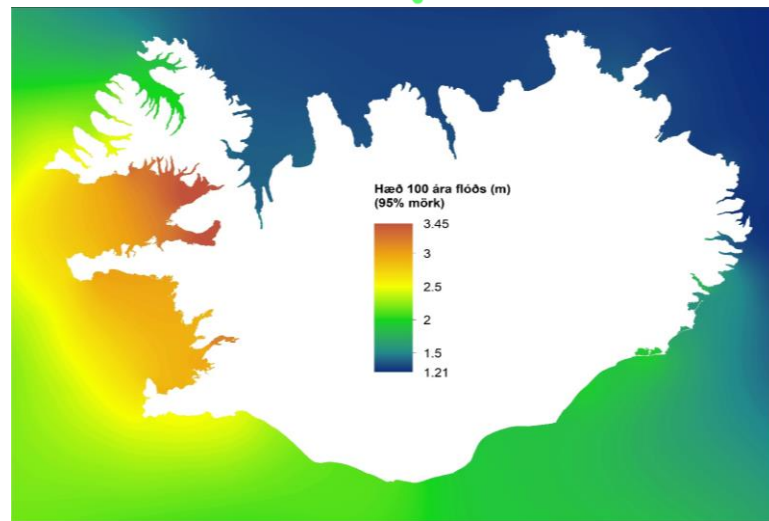
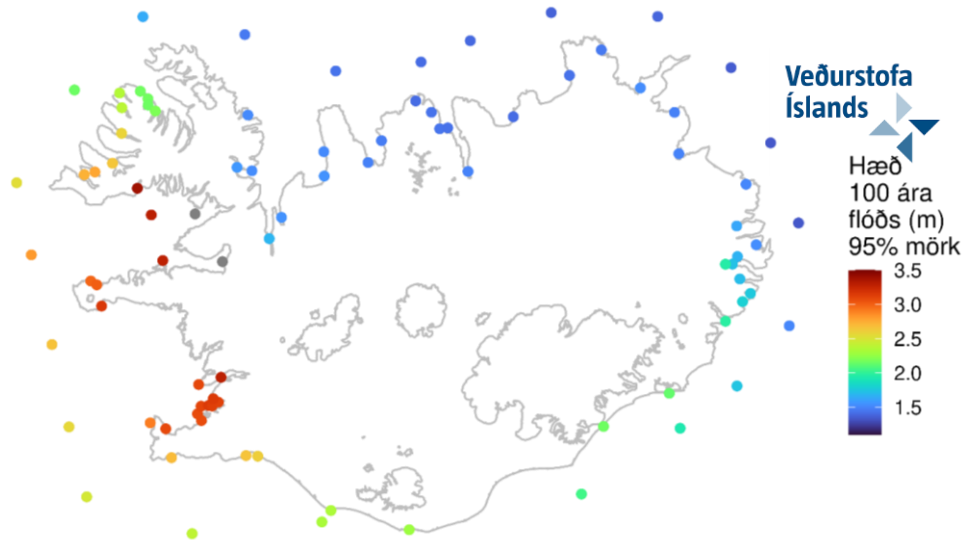
Mismunur á miðgildi h_{100} og
95% hlutfallsmarki
staðgönguraðanna 500.

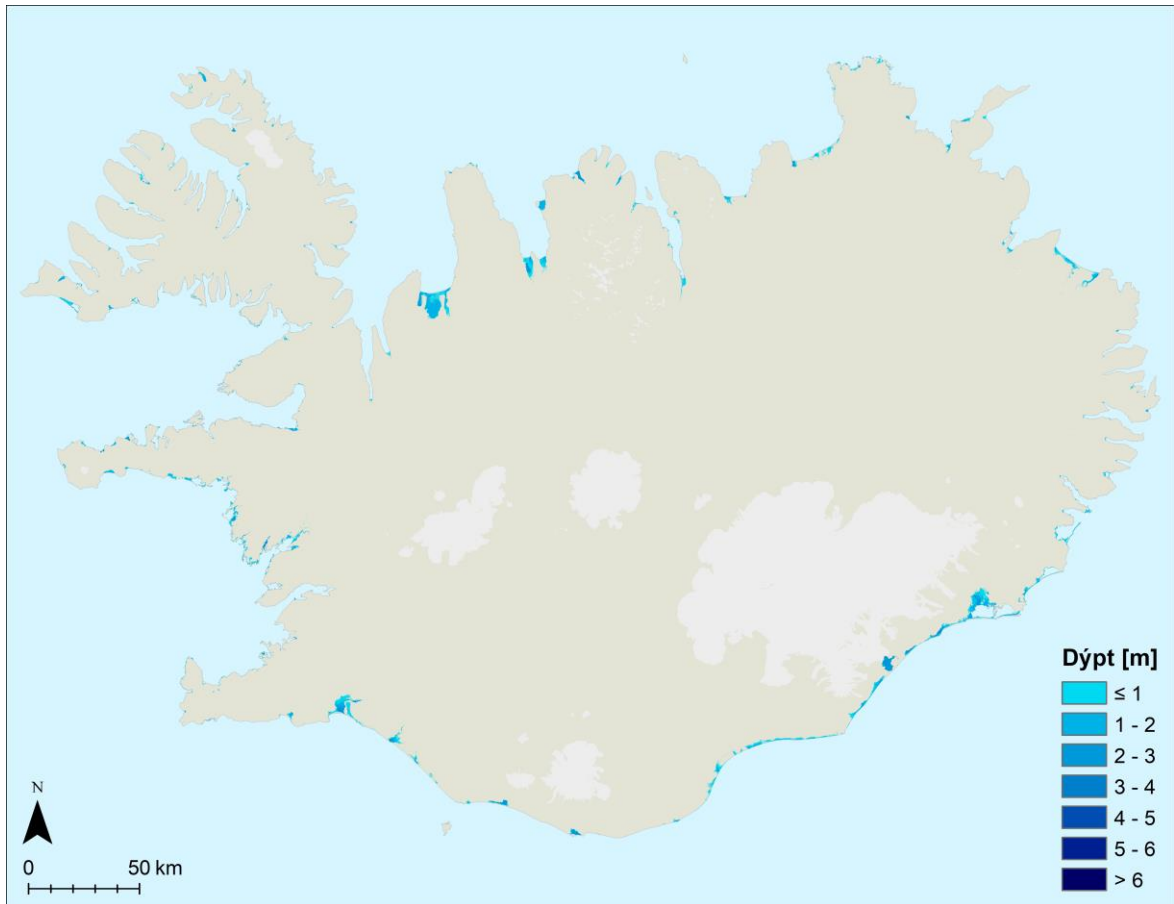
Munur á
95% og
miðgildi (m)

0.2
0.1
0.0

Viðmiðunarflóð

- Eftir að skoða óvissupætti þá er ljóst að þeir eru á bilinu 0 – 20 cm en ýmist bæta við eða draga úr hæð hundrað ára flóðs
- Ef miða er við 95% hlutfallsmark dreifingar h_{100} sem fæst með staðgönguröðunum 500 þá fæst flóð sem er nærri ystu mörkum óvissupátta í flestum tilvikum
- Þessi hæð var því notuð sem viðmiðunarhæð 100 ára flóðs
- Til að skoða áhrif hennar þurfti svo að brúa hana yfir á kort af landinu



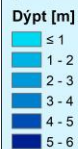
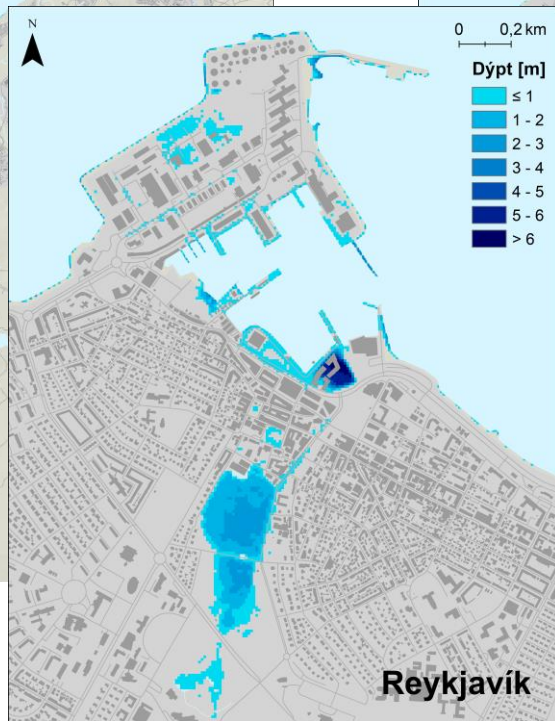
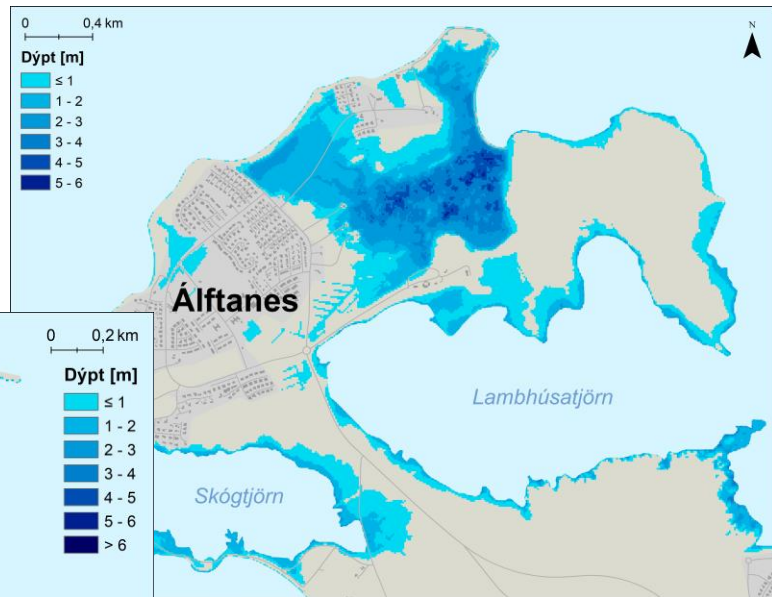
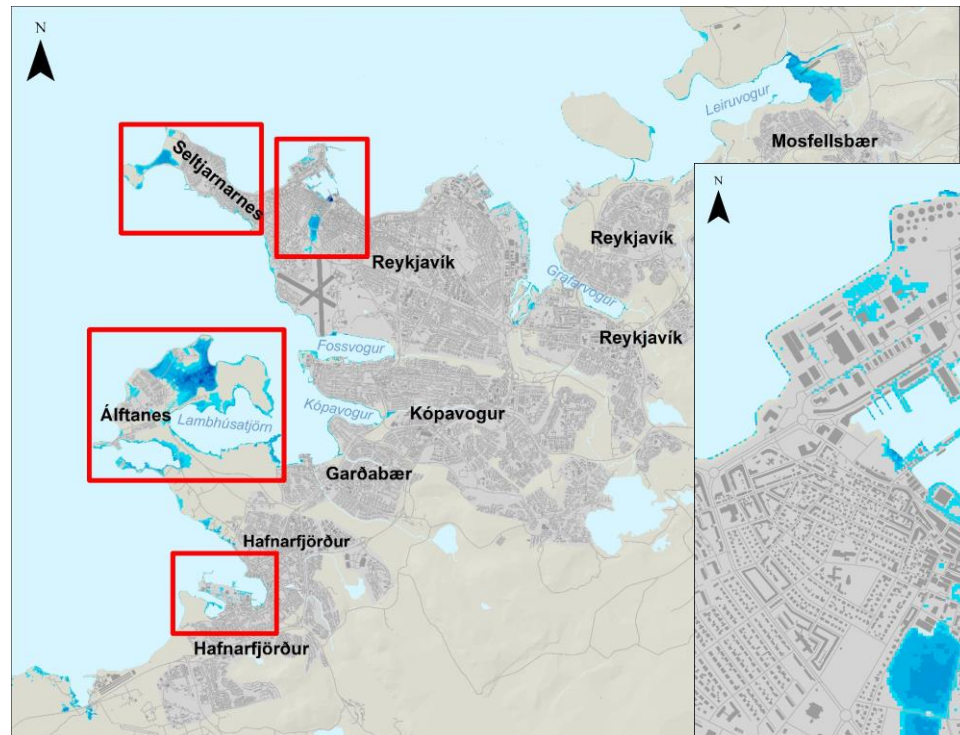


Til þess að geta kortlagt niðurstöðurnar, var flóðhæðin í hverjum punkti aðlöguð að landshæðarkerfinu ISH2004

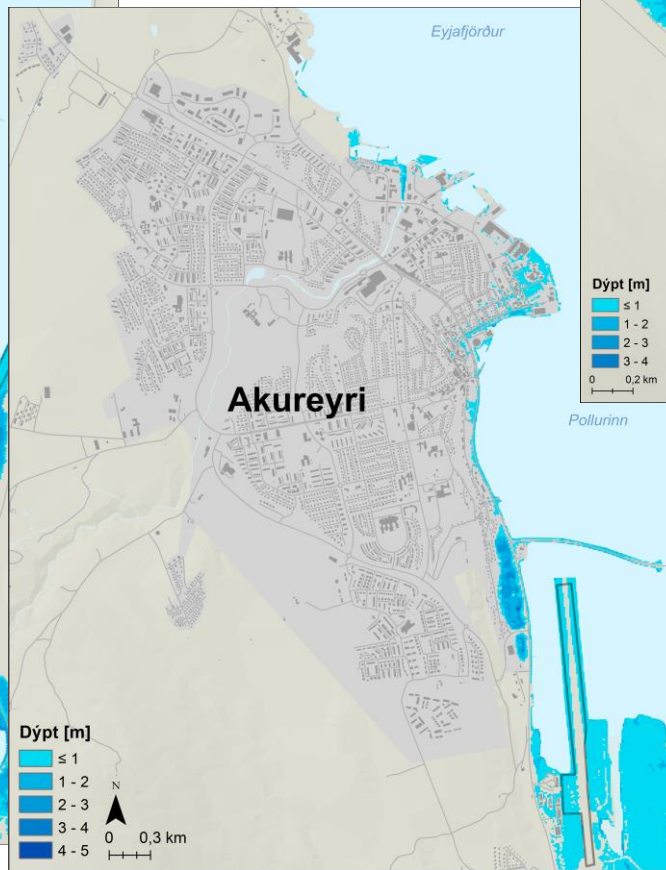
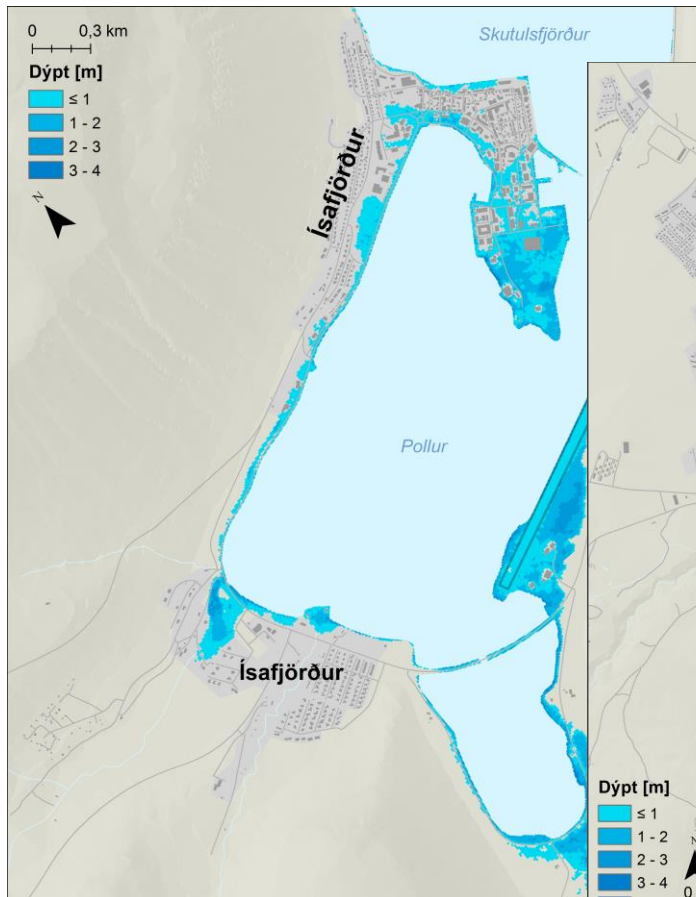
Þá var hægt að bera flóðahæðir saman við íslenska hæðarlíkanið ÍslandsDEM á 10x10 m neti

(Tæknilegum atriðum sleppt en óvissa á landhæð í ÍslandsDEM er á bilinu 0.1 – 0.5 m fyrir 10x10 m net)

Dæmi um niðurstöður



Dæmi um niðurstöður II



Akranes	Búðardalur	Grundarfjörður	Hvammstangi	Ólafsvík	Stöðvarfjörður
Akureyri	Dalvík	Grundarhverfi	Hvanneyri	Patreksfjörður	Stokkseyri
Arnarstapi	Djúpivogur	Hafnarfjörður	Innes	Raufarhöfn	Stykkishólmur
Álftanes	Drangsnes	Hafnir	Ísafjörður	Reyðarfjörður	Súðavík
Árskógssandur	Eskifjörður	Hauganes	Keflavík	Reykhólar	Suðureyri
Bakkafjörður	Eyrarbakki	Hellissandur	Kópasker	Reykjanesbær	Svalbarðseyri
Bakkagerði	Fáskrúðsfjörður	Skýrsla og fylgiskjal innihalda kort af öllum þessum stöðum		Reykjavík	Tálknafjörður
Bíldudalur	Flatey				Vestmannaeyjabær
Blönduós	Flateyri	Hnífsdalur	Lónsbakki	Sandgerði	Vík
Bolungarvík	Garðabær	Höfn	Mosfellsbær	Sauðárkrókur	Vogar
Borðeyri	Garður	Hofsós	Nesjahverfi	Seltjarnarnes	Vopnafjörður
Borgarnes	Grenivík	Hólmavík	Neskaupstaður	Seyðisfjörður	Þingeyri
Breiðdalsvík	Grimsey	Hrísey	Njarðvík	Siglufjörður	Þorlákshöfn
Brúnahlið	Grindavík	Húsavík	Ólafsfjörður	Skagaströnd	Þórshöfn

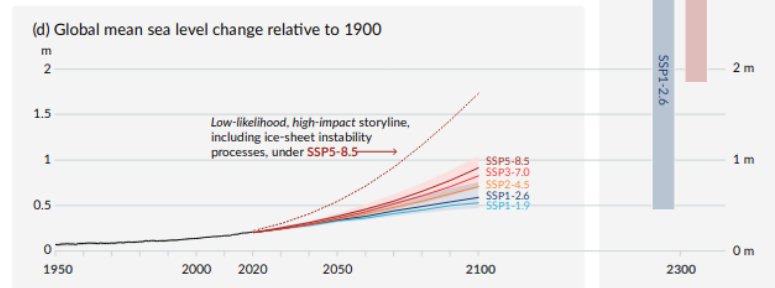
Akranes	Búðardalur	Grundarfjörður	Hvammstangi	Ólafsvík	Stöðvarfjörður
Akureyri	Dalvík	Grundarhverfi	Hvanneyri	Patreksfjörður	Stokkseyri
Arnarstapi	Djúpivogur	Hafnarfjörður	Innes	Raufarhöfn	Stykkishólmur
Álftanes	Drangsnes	Hafnir	Ísafjörður	Reyðarfjörður	Súðavík
Árskógssandur	Eskifjörður	Hauganes	Keflavík	Reykhólar	Suðureyri
Bakkafjörður	Eyrarbakki	Hellissandur	Kópasker	Reykjanesbær	Svalbarðseyri
Bakkagerði	Fáskrúðsfjörður	Hellnar	Kópavogur	Reykjavík	Tálknafjörður
Bíldudalur	Flatey	Hjalteyri	Laugarbakki	Rif	Vestmannaeyjabær
Blönduós	Flateyri	Hnífsdalur	Lónsbakki	Sandgerði	Vík
Bolungarvík	Garðabær	Höfn	Mosfellsbær	Sauðárkrókur	Vogar
Borðeyri	Garður	Hofsós	Nesjahverfi	Seltjarnarnes	Vopnafjörður
Borgarnes	Grenivík	Hólmavík	Neskaupstaður	Seyðisfjörður	Þingeyri
Breiðdalsvík	Grimsey	Hrísey	Njarðvík	Siglufjörður	Þorlákshöfn
Brúnahlið	Grindavík	Húsavík	Ólafsfjörður	Skagaströnd	Þórshöfn

Næstu skref: Sjávarstöðubreytingar

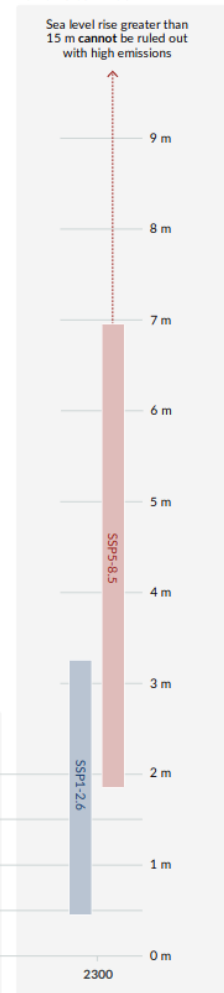
IPCC (2013): Hækkun til loka aldarinnar á bilinu 0.4 til 1 m miðað við ólíkar sviðsmyndir

IPCC (2021): 0.5 til 1 m en ekki hægt að útiloka hækkun sem fer nærri 2 metrum til loka aldarinnar. Langtímahækkun eftir það getur verið mikil, versta tilvik sem var skoðað er 5 m árið 2150 og árið 2300 gæti hækkunin numið nokkrum metrum

- Mun áhrifa skipulags okkar tíma gæta árið 2300 ?



(e) Global mean sea level change in 2300 relative to 1900



Næstu skref: Sjávarstöðubreytingar

IPCC (2013): Hækkun til loka aldarinnar á bilinu 0.4 til 1 m miðað við ólíkar sviðsmyndir

IPCC (2021): 0.5 til 0.1 en ekki hægt að útiloka hækkun sem fer nærri 2 metrum.

Langtímahækkun eftir það getur verið mikil, versta tilvik sem var skoðað er 5 m árið 2150 og árið 2300 gæti hækkunin numið nokkrum metrum

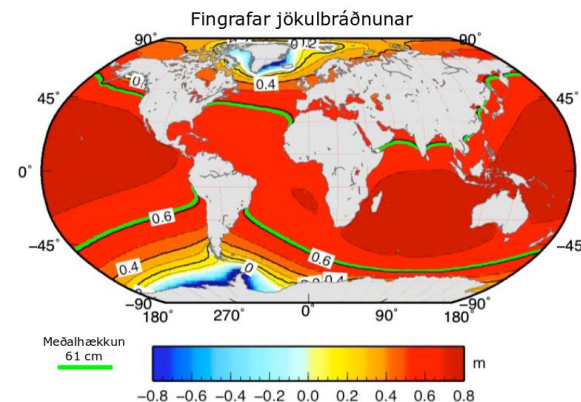
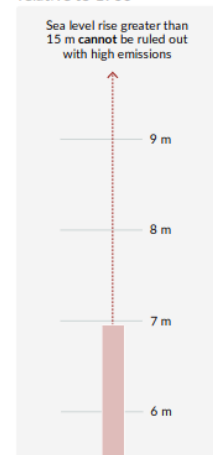
Áhrif á Íslandi fara mjög eftir því hvar bráðnar

Fingraför jöklabráðnunar eru þannig að þau reyna að lækka sjávarstöðu næstu jöklinum sem leiðir til meiri hækkunar fjær honum

Bráðnun á Grænlandi hefur tilhneygingu til að lækka sjávarstöðu hér við land en bráðnun á Suðurskautslandinu hækkar sjávarstöðu hér.

Berglind Pétursdóttir og Guðfinna Aðalgeirsdóttir hafa reiknað sviðsmyndir IPCC fyrir Ísland og verið er að uppfæra viðmiðunarflóðið miðað við þær niðurstöður

(e) Global mean sea level change in 2300 relative to 1900



Hundrað ára viðmiðunarflóð hefur verið reiknað fyrir ströndina og kortlagt fyrir alla byggðakjarna við ströndina

Fyrsta heilstæða mat á sjávarflóðahæð fyrir allt landið

Gallar: Byggir ekki á mælingum og öldupátt á eftir að taka með í reikninginn. Öldupáttur er sérstaklega mikilvægur við suðurströndina.

Næsta skref er að leggja mat á sjávarstöðuhækkun vegna loftslagsbreytinga við Ísland

Þá má leggja mat á hvernig 100 ára flóð munu breytast í samræmi við hækkun vegna loftslagsbreytinga og meta líkur þess að allt stefni í óefni eftir 80 ár, 130 ár osfrv.

Veðurstofan vill ítreka þessa athugasemd, en ekki kemur fram í frummatsskýrslu hvernig skipulag hverfisins taki mið af þeim möguleika að verja þurfi það gegn hækkandi sjávarstöðu. Með hliðsjón af þeirri óvissu sviðsmynd sem minnst er á hér að framan er þetta enn brýnna.

Útskýra þarf hvað átt er við með líftíma bygginga og af hverju sá mælikvarði er réttari en t.d. líftími hverfisins. Umhugsunarefni er hvort eðlilegt sé að afskrifa verðmæti bygginga eftir ákveðinn líftíma þegar um skipulag fyrir heilu hverfin er að ræða. Þessi spurning er víða rædd í samhengi við viðbúnað við loftslagsbreytingum af mannavöldum. Það verður óhjákvæmilega mikið áfall fyrir komandi kynslóðir ef þær þurfa að bregðast við því að heilu hverfin í þéttbýli verði ónothæf. Er eðlilegt að afskrifa hagsmuni næstu kynslóða að þessu leyti eins og um einstakar byggingar sé að ræða? Mikilvægt er að hafa í huga að ef ekki er sýnd aðgát í skipulagi er verið að vísa verulegum kostnaði á komandi kynslóðir.

Hér má spyrja hvort það sé ekki siðferðileg ábyrgð borgaryfirvalda að sjá til þess að komandi kynslóðir séu ekki settar í verri stöðu með núverandi skipulagsákvörðunum. Eins má spyrja hvort ekki sé eðlilegt að borgaryfirvöld tryggi að við skipulag sé þess gætt að auðvelt verði að koma við sjóvörnum síðar gerist þess þörf.

Virðingarfyllt,



Árni Snorrason
forstjóri VÍ



Takk fyrir