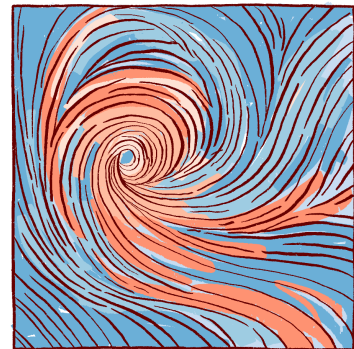
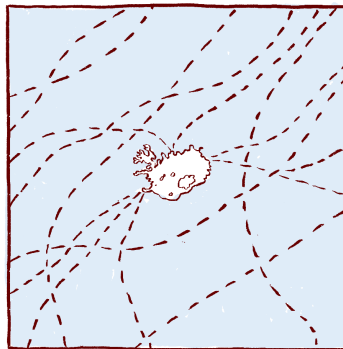
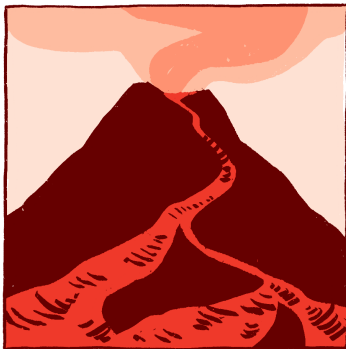


KAFLI

10

ÁHÆTTUR, NÁTTÚRUVÁ OG
ÁSKORANIR ÞVERT Á LANDAMÆRI



Efnisyfirlit kafla

10.1	Inngangur	310
10.2	Áhætta – helstu hugtök	310
10.2.1	Tegund áhættu	312
10.3	Flókin og kerfislæg áhætta í íslensku samhengi	313
10.3.1	Áhrif loftslagsbreytinga á samsetningu þjóða	316
10.3.2	Áhrif loftslagsbreytinga á alþjóðleg viðskipti og vöruflytninga	317
10.3.3	Áhrif loftslagsbreytinga á fæðukerfi	317
10.3.4	Samantekt um flókna og kerfislæga áhættu í íslensku samhengi	318
10.4	Náttúruvá – bein áhætta	319
10.4.1	Einstakir áhættuþættir	319
10.4.2	Aftakaveður	320
10.4.3	Flóð í ám	321
10.4.4	Sjávarflóð	322
10.4.5	Ofanflóð	325
10.4.6	Gróðureldar	326
10.4.7	Eldgos	326
10.5	Stýring áhættu vegna loftslagsbreytinga	327
10.5.1	Viðbrögð við kerfislægri áhættu	327
10.5.2	Áhættustýringar og náttúruvá	329
10.5.3	Viðbrögð við beinni áhættu	329
10.5.4	Almenn atriði varðandi áhættustýringu	330

Samantekt

1. Íslenskt samfélag kann að vera berskjaldað gagnvart flókinni kerfislægri áhættu sem tengist afleiðingum loftslagsbreytinga. Slíkar áhættur kunna m.a. að vera til staðar í matvæla- og fjármálakerfum og aðfangakeðjum. Ónægar rannsóknir hafa farið fram á þessu og mikilvægar upplýsingar vantar.
2. Íslenskt samfélag kann að verða fyrir afleiðingum loftslagsbreytinga í fjarlægum löndum, sem m.a. getur birst í komu loftslagsflóttamanna. Yfirleitt eru margar ástæður fyrir því að aðstæður heima fyrir verða það óbærilegar að fólk leggi á flóttu, en vitað er að loftslagsbreytingar geta haft áhrif.
3. Þörf er á átaki til þess að greina flókna kerfislæga áhættu vegna áfalla utan landsteina á íslenskt samfélag. Þessi áhætta er illa þekkt en í ljósi tjónnæmis og varnarleysis samfélagsins gagnvart hættunni kann hún þó að vera mikil.
4. Hnattræn hlýnun kann að draga úr tíðni fyrirstöðuhæða við Grænland að vetri sem gæti aukið lægðagang til Íslands og álag vegna óveðra.
5. Þó að vindhraði minnki að meðaltali á miðlægum breiddargráðum kunna vindar við yfirborð að aukast norðan og vestan við landið, þar sem áhrifa samdráttar hafisþekju gætir. Þetta getur aukið hættu á foktjóni á landi.
6. Rakaelfur og úrkomukerfi sem fara hægar yfir geta aukið úrkomu og flóðahættu.
7. Líklegt er að aftakaúrkoma aukist í takt við hlýnun sem getur aukið álag á fráveitukerfi og valdið flóðum.
8. Flóð í ám munu taka breytingum við aukna úrkomu og bráðnun jökla.
9. Ný jaðarlón munu myndast og nýr áhættuþáttur er hættan á berghruni í jaðarlón.
10. Bráðnun sífrera og hop jökla getur gert hlíðar óstöðugar tímabundið. Umtalsverðar rannsóknir á þessari vá á síðustu árum sýna að tíðni skriðufalla hefur aukist þó ekki verði þau öll rakin til loftslagsbreytinga.
11. Gróðurfarsbreytingar samfara loftslagsbreytingum og minnkandi beit hafa í för með sér aukna hættu af gróður- og skógareldum ef til þurrka kemur. Einungis virðist tímaspursmál hvenær útbreiddur gróðureldur veldur alvarlegu tjóni í byggð.
12. Með hækkandi sjávarstöðu mun hætta vegna sjávarflóða aukast. Lagt hefur verið mat á útbreiðslu verstu flóða við núverandi aðstæður og að gefnum sviðsmyndum um loftslagsbreytingar og bráðnun jökla.
13. Farglétting vegna bráðnunar jökla eykur, að öðru óbreyttu, kvikumyndun í jarðskorpunni sem kann að leiða til stærri eða tíðari eldgosa.
14. Á Íslandi hefur skapast víðtæk þekking og reynsla varðandi viðbrögð við náttúruvá. Mikilvægt er að áhættustýringu sé beitt og hún taki mið af áhrifum loftslagsbreytinga. Þannig er hægt að draga úr líkum þess að alvarlegt tjón verði.
15. Eðlilegt er að viðbrögð vegna aukinnar náttúruvár verði skipulögð í tengslum við áhættu- stýringu á núverandi vá og aðgerðir til þess að mæta henni efdar.
16. Mikilvægt er að horft sé til aukinnar náttúruvár við gerð skipulags.

10.1 Inngangur

Í fyrri skýrslum vísindanefndar er fjallað um náttúruvá á Íslandi og áhættustýringu (sjá grein 4.6 í V2008 og kafla 12 í V2018). Einstakir atburðir á síðustu árum hafa beint athyglinni sérstaklega að samfélagslegu tjóni vegna náttúruvá og viðbragðsgetu vegna þess (Forsætisráðuneytið, 2019). Í ljósi áhrifa loftslagsbreytinga á náttúruvá (Seneviratne o.fl., 2021) hefur skilningur aukist á mikilvægi þess að bæta áfallapol þjóðfélagsins. Einnig hefur athyglin beinst að flóknun og kerfisbundum áhættu. Orsakir þeirra geta verið af innlendum toga en ekki síður tengdar áhrifum loftslagsbreytinga utan landsins. Sem dæmi má nefna að hitabylgjur og þurrkar hafa haft áhrif á fjölda flóttamanna (Abel o.fl., 2019) og að veðuröfgar hafi truflað aðfangakeðjur örgjörvaframleiðslu (Kamasa, 2021). Skilningur á þeirri vá sem fylgir áhættu þvert á landamæri hefur aukist vegna Covid-19 heimsfaraldursins og vegna stríðsátaka í Úkraínu. Kerfislæg áhætta og áhætta þvert á landamæri eru ólíkar þeirri áhættu sem fjallað var um í fyrri skýrslum, og sem stafaði af einstökum atburðum á Íslandi. Eftir sem áður er margt sammerkt við mat á þessum ólíku áhættum auk viðbragaða og áhættustýringu.

Í þessum kafla verður leitast við að beita samskonar nálgun á þessar ólíku tegundir áhættu. Fyrst verða hugtök tengd áhættu og áhættustýringu útskýrð. Næst verður rætt um kerfisbundna áhættu, m.a. eins og hún birtist í fjármálageiranum, og síðan verður rætt um áhættu þvert á landamæri. Þá verður fjallað um náttúruvá og einstaka áhættuþætti á Íslandi. Í lokin verður fjallað um viðbrögð og áhættustýringu þessara ólíku þátta.

Þessi kafli byggir að hluta á upplýsingum sem komu fram komu fram á málstofum sem vísindanefndin hélt árið 2022. Sérstaklega má nefna að grein 10.2 byggir á erindum Láru Jóhannsdóttur og Sigrúnar Karlsdóttur, grein 10.3 byggir á erindum Mikaela Mikaelssonar Önnu Karlsdóttur, Fridu Lager og Ólafs Ögmundarssonar, grein 11.6 byggir á erindi Ásdísar Hlakkar Theódórsdóttur.

10.2 Áhætta – helstu hugtök

Í skýrslu V2008, grein 4.6.2, er rætt um áhættustýringu vegna loftslagsbreytinga og hugtök útskýrð í sérgrein 4A. Sú nálgun byggir á vinnu Sameinuðu þjóðanna, en samtal þeirra um það hvernig auka megi þekkingu á náttúruvá og finna leiðir til þess að draga úr henni hefur leitt til staðlaðrar hugtakanotkunar. Í því samhengi hafa Sameinuðu þjóðirnar einnig mótað vinnubrögð sem hafa að miklu leyti verið tekin upp af viðbragðsaðilum á Íslandi. Í þessari skýrslu er byggt á yfirliti sem Loftslagsráð birti árið 2020 (Magnús Örn Sigurðsson, 2020). Þar sem viðeigandi hugtök voru tekin saman. Auk þess er byggt á orðasafni Almannavarna (*Hugtök og skilgreiningar* án árs) og tillögum að áhættuviðmiðum fyrir vatnsflóð (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2022). Samhengi helstu hugtaka er sýnt á mynd 10.1 sem byggir á mynd úr skýrslum IPCC (Oppenheimer o.fl., 2015).

Hætta (*e. hazard*) eða **vá** er sá möguleiki að atburður eða þróun eigi sér stað sem geti valdið manntjóni, líkamstjóni, heilsufarskvillum sem geta skaðað eða valdið tjóni á eignum, innviðum, lífsviðurværi, þjónustu, vistkerfum og auðlindum.

Varnarleysi (*e. exposure*) eða **berskjöldun** lýsir því þegar fólki, lífsviðurværi, lífverum eða vistkerfum, náttúrulegum ferlum, þjónustu og auðlindum, innviðum eða efnahagslegum, félagslegum eða menningarlegum verðmætum er stefnt í voða. Það fer eftir samhengi hvort eðlilegra mál sé að tala um *viðveru* eða *útsetningu* fyrir tjóni frekar en berskjöldun eða varnarleysi.

Tjónnæmi (*e. vulnerability*) vísar til stöðu eða fyrirkomulags sem bendir til að ákveðnar líkur séu á tjóni. Skylt orð er **tjónmætti** sem vísar til stærðar atburðarins en ekki mögulegs tjóns. Tjónnæmi vísar til þess sem vörn beinist að en tjónmætti vísar til atburðarins. Hvað

að stýra áhættu er ekki einungis reynt að draga úr hættu, tjónnæmi og varnarleysi heldur þarf líka að huga að því hversu vel samfélög ráða við áföll.

Áfallaþol eða **viðnámsþróttur** (*e. resilience*) hefur verið skilgreint sem geta kerfis eða samfélags sem stendur andspænis hættu, til þess að forðast, draga úr eða komast yfir áföll vegna hvers konar vár, með viðbúnaði jafnt sem fyrirbyggjandi aðgerðum eða viðbrögðum. Orðin þol, þanþol eða seigla hafa einnig verið notuð yfir þetta hugtak. Áfallaþol segir til um möguleika samfélags til að takast á við, jafna sig á og komast yfir hamfarir með viðbúnaði. Til dæmis spám um náttúruhamfarir, innviðum almannavarna, tryggingum og varnaraðgerðum, svo sem varnargörðum.

Hugtökin hér fyrir ofan eru almenn hugtök tengd áhættu og stýringu hennar, en lýsa ekki tegund áhættunnar frekar. Á undanförunum árum hefur bæst við skilningur á mikilvægi þess að greina áhættu og athyglin færst frá einstökum atburðum yfir í flóknari áhættu sem kann að ná yfir kerfi, samfélög og á milli slíkra kerfa. Þegar kemur að áhættustýringu skiptir tegund áhættu því miklu máli.

10.2.1 Tegund áhættu

Algennt er að skipta áhættu í beina áhættu, flókna eða afleidda áhættu og kerfistengda áhættu. **Bein áhætta** er áhætta tengd einstökum atburðum. Í samhengi við loftslagsbreytingar er hún tengd einstökum áhrifum, svo sem vegna sjávarstöðuhækkunar eða aukinnar úrkomuákefðar. Mikill hluti umfjöllunar um náttúrvá, t.d. í V2008 og V2018 fjallar um þessa beinu áhættu sem oft er auðgreinanlegri en **óbein áhætta**, sem í mörgum tilvikum er bæði víðfeðm og flókin.

Flókin eða afleidd áhætta (*e. cascading risk*) er þegar horft er á áhættu sem hluta af stærra samhengi eða kerfi og því einn áhættuþáttur leiðir til frekari áhrifa annars staðar í kerfinu. Við mat á flókinni áhættu er mikilvægt að taka til greina áhrif á mismunandi berskjaldaða hópa eða á samfélagsinnviði. Tímarammi áhættu getur einnig haft áhrif á það hversu flókin áhrifin eru. Þannig getur áhætta safnast upp í samsetta áhættu þar sem heildaráhrifin magnast eftir því sem að atburðurinn gerist oftast, eða fleiri váatburðir gerast samtímis. Dæmi um samsetta áhættu er þegar aftakaúrkoma, hvassviðrði og sjávarflóð veldur rafmagnstruflunum og rofi á aðfangakeðjum.

Kerfislæg áhætta (*e. systemic risk*) er nátengd flókinni áhættu og lýsir því þegar áhætta felst í samspili þátta innan sama kerfis eða á milli kerfa. Orðið er stundum stytt í **kerfisáhættu** en mikilvægt er að hafa í huga að slík áhætta beinist ekki bara að einstökum áhættuþáttum heldur eiginleikum kerfisins. Í sumum kerfum getur einn atburður haft í för með sér keðjuverkandi áhrif (dómínó áhrif) og jafnvel leitt til kerfishruns að lokum. Greiningar á kerfislægri áhættu snúast oft að samfélagslega mikilvægum fyrirtækjum svo sem orkufyrirtækjum, efnaverksmiðjum, fjármála- og fjarskiptakerfum og þá metið hvað gerist ef þau falla (Roberts og Bea, 2001). Í tilvikum kerfislægrar áhættu er oft talað um **vendipunkta** (*e. tipping points*). Þeir lýsa hættumörkum ástands, ferlis eða kerfis þar sem óafturkræfar og hraðar breytingar geta átt sér stað, þróist kerfið umfram þessi mörk. Vendipunktur hafa verið ræddir í tengslum við loftslagsbreytingar (Lenton o.fl., 2019), til dæmis í tengslum við faraldra og fjármálakerfi. Í þeim tilfellum er hugtakið notað þegar afleiðingar geta verið alvarlegar og víðtækar, hvort sem þær eru efnahagslegar, félagslegar, tæknilegar eða í náttúrulegum kerfum (Schwarcz, 2008).

Á Íslandi hefur kerfislæg áhætta aðallega verið rædd í samhengi fjármálakerfa. Dæmi um umfjöllun um kerfislæga áhættu og kerfishrun á Íslandi er að finna m.a. í skýrslu rannsóknarnefndar Alþingis og víðar (Rannsóknarnefnd Alþingis, 2010; VB.is, 2011):

- engin ábyrgð aðildarríkis á innstæðutryggingakerfi sínu væri til staðar í tilviki kerfishruns (*e. system breakdowns*) (Rannsóknarnefnd Alþingis, e.d., kafli 17, bls. 266).



Mynd 10.2: Dæmi um mismunandi kvarða áhættu.

- . . . þeim sé ekki ætlað að standast kerfishrun heldur fyrst og fremst að takast á við fall einstakra, og þá minni og meðalstórra, banka (Rannsóknarnefnd Alþingis, e.d., kafli 17, bls. 270).
- Kerfislæg áhætta fólst í gjaldþroti Sjóváar (fyrirsögn úr Viðskiptablaðinu, 9. desember 2011)

Áhætta vegna loftslagsbreytinga nær frá einstaklingum, fyrirtækjum, stofnunum og nærsamfélögum yfir í samfélags- og efnahagskerfi, lífríki og vistkerfi og getur jafnvel verið tilvistarlegs eðlis fyrir suma hópa (mynd 10.2). Loftslagsbreytingar hafa fjölpætt áhrif um allt samfélagið og því hefur færst í vöx að horfa á að horfa á áhrif loftslagsbreytinga sem kerfislæga áhættu (Sillmann o.fl., 2022; Dafermos, 2022).

Mat á kerfisáhættu vegna loftslagsbreytinga er ekki einfalt vegna þessara víðtæku tenginga en greina þarf hvernig áhrif loftslagsbreytinga geta hrint af stað keðju atburða (Menk o.fl., 2022). Myndir 10.3 og 10.4 sýna dæmi um þessar flóknu tengingar og mögulega kerfislæga áhættu í tengslum við loftslagsbreytingar (Pörtner o.fl., 2022a). Myndirnar sýna að kerfislæg áhætta liggur frekar í tengslum þátta kerfisins en í einstökum áhættuþáttum.

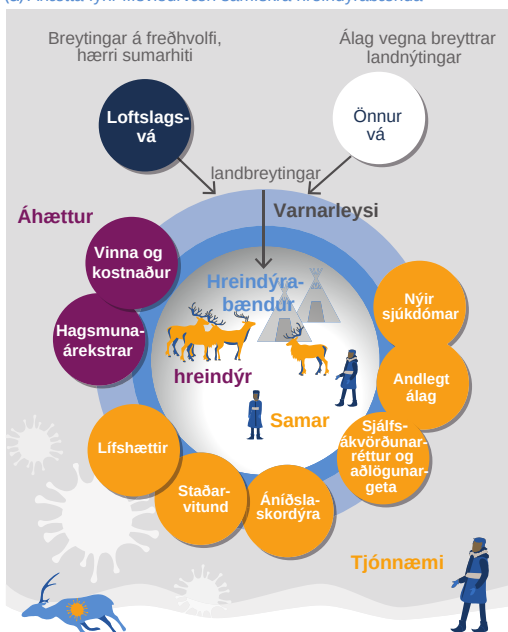
10.3 Flókin og kerfislæg áhætta í íslensku samhengi

Loftslagsbreytingar virða engin landamæri og afleiðingar þeirra ekki heldur. Ónægur skilningur er á því hvernig loftslagsbreytingar og afleiðingar þeirra hafa áhrif á lönd og svæði sem tengd eru gegnum viðskipti, fólksflutninga, fjarskipti og árstíðabundnar ferðir dýrategunda, svo örfá dæmi séu nefnd. Í alþjóðavæddum heimi geta tengingar átt sér stað yfir langar vegalengdir. Ísland er afar háð tengingum við umheiminn og því er ljóst að það getur orðið fyrir áhrifum, neikvæðum sem jákvæðum, af atburðum og ferlum sem eiga sér stað í fjarlægum löndum.

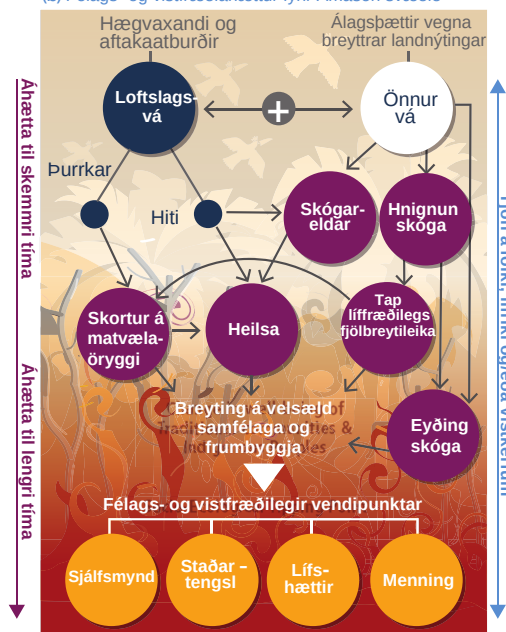
Eins og fram kom í 10.2.1 hefur kerfislæg áhætta á Íslandi helst verið greind í tengslum við fjármálageirann. Hugtakið hefur þó líka verið skoðað í norrænu samhengi og áhættunni þá skipt í 6 flokka eftir mögulegum áhrifum: þjóðaröryggi, alþjóðaviðskipti, fólksflutninga, fæðuöryggi, heilsu og orkuöryggi (Chatham House, 2021). Hér verður fjallað um þrjá þessara flokka: fólksflutninga, fæðuöryggi og alþjóðaviðskipti.

Flókin víxlverkun loftslagsvá, tjónnæmis og varnarleysis leiðir til áhættu fyrir vistkerfi og samfélög. Áhættan er samsett, keðjuverkandi og gengur þvert á landamæri.

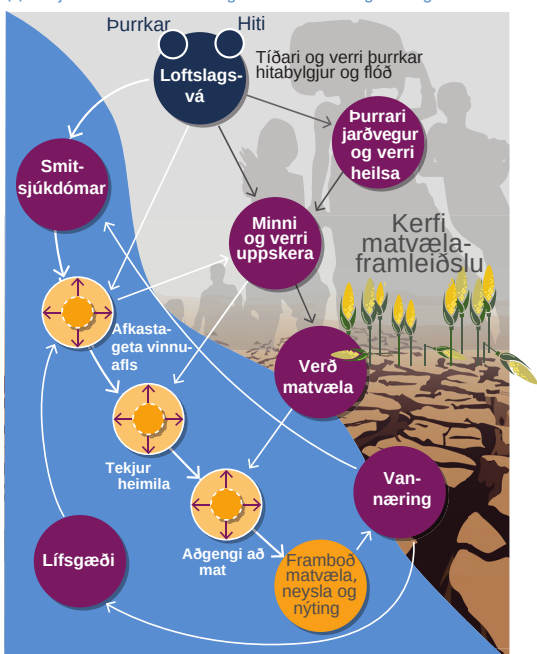
(a) Áhætta fyrir lífsviðurværi samískra hreindýrabænda



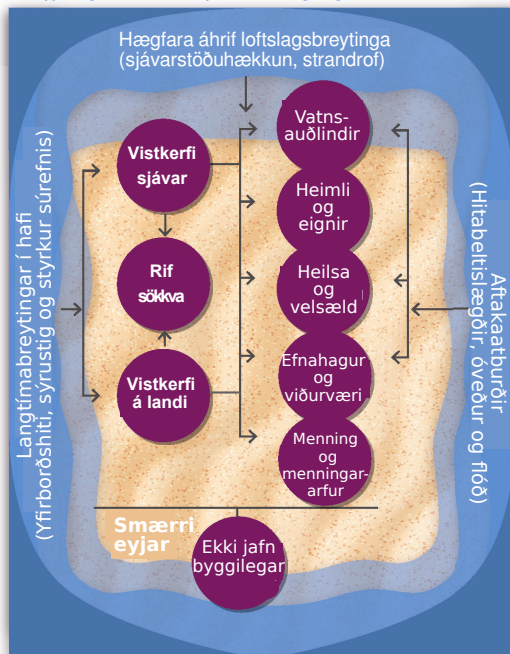
(b) Félags- og vistfræðiahættur fyrir Amasón svæðið



(c) Keðjuverkandi áhrif loftslagsvá á matvæli og næringu

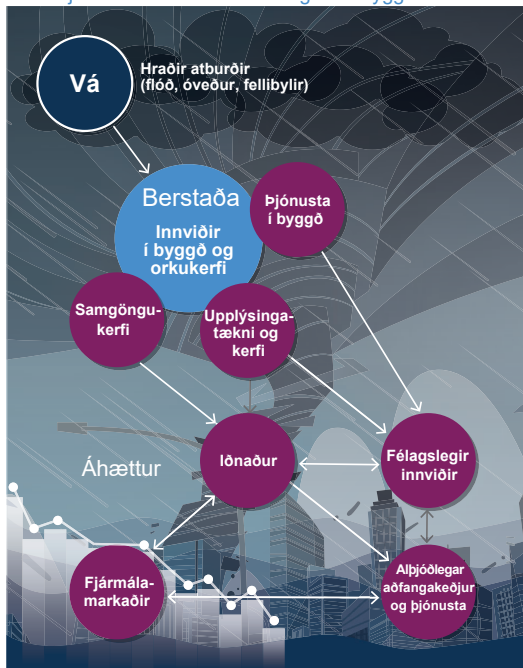


(d) Eyjar og strendur ekki jafn lífvænleg vegna samsettrar áhættu



Mynd 10.3: Flókin áhætta: Samverkandi, flókin áhætta sem gengur þvert á landamæri hefur áhrif á vistkerfi og samfélög. Slík áhætta stafar af varnarleysi gagnvart flóknu samspili (i) margskonar loftslagsvá, og einnig þátta sem ekki tengjast loftslagi beint (sjá hluta a, b, c, d), (ii) margskonar tjónnæmi sem saman magnar afleiðingar áhættunnar (sjá hluta a, b, c) og (iii) margskonar áhrif/áhættur sem tvinnast saman og dreifast þvert á geira og landamæri (b, c, d, e, f, sjá einnig næstu mynd)

(e) Röskun á innviðum í byggð veldur keðjuverkandi áhættu innan og utan byggðar



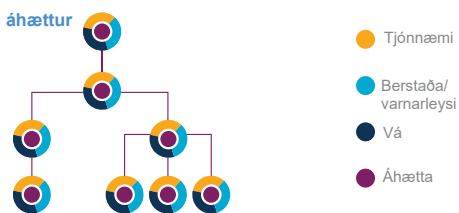
(f) Áhrif stórra gróðurelda í Ástralíu 2019-2020 þvert á geira og landamæri



Samverkandi áhættur



Keðjuverkandi áhættur



Mynd 10.4: Framhald af mynd 10.3. (Byggt á mynd TS.10 í Pörtner o.fl., 2022b)

10.3.1 Áhrif loftslagsbreytinga á samsetningu þjóða

Loftslagstengdir atburðir geta haft áhrif á ferli sem teygja sig þvert á landamæri í flóknu samspili umhverfisþátta auk pólitískra og efnahagslegra, samfélags- og menningarlegra þátta. Sem dæmi má nefna að margar ástæður geta gert aðstæður heima fyrir svo óbærilegar að fólk leggur á flóttu. Í þeim tilfellum er oft talað um loftslagsflóttamenn, en undirliggjandi ástæður geta verið flóknari.

Fólksflutningar eru nefndir hér því ljóst er að loftslagsbreytingar og ýmis náttúruvá er þegar farin að hafa áhrif á fólksflutninga. Þar sem Norðurlöndin eru nátengd samfélags- og efnahagslega verður hér fjallað stuttlega um lýðfræðilega þætti loftslagsbreytinga í norrænu samhengi. Það sama á við um umfjöllun um aðföng og viðskipti, þ.m.t. matvæli og fæðuöryggi.

Rannsóknastofnunin NORDREGIO hefur á sinni könnu nokkur verkefni sem snúast að einhverju eða miklu leyti um lýðfræðilega þróun og búsetumynstur, náttúruvá og afleiðingar loftslagsbreytinga þvert á landamæri. Þá einkum í landfræðilegu samhengi Norðurlandanna. Meðal þeirra er þverfaglegt samvinnuverkefni náttúru- og félagsvísinda sem fjallar um bráðnun sífrera og afleiðinga þess á samfélög á norðurslóðum (NUNATARYUK, 2022, 2017). Á Norðurskautssvæðinu búa um 5 milljónir manna í um 1200 samfélögum sem eru byggð á sífrera. Stór hluti þeirra mun verða fyrir mikilli röskun á lífi sínu vegna bráðnunar sífrerans sem hefur í för með sér eyðilagningu á undirstöðum húsa, vegum og öðrum innviðum (Jungsberg o.fl., 2019). Líklegt er að þessar breytingar muni ýta undir fólksflutninga, m.a. til Norðurlanda.

Við athuganir á lýðfræðilegri þróun á Norðurlöndunum, og á Íslandi sérstaklega, er ekki auðvelt að koma auga á tengingu fólksflutninga við afleiðingar loftslagsbreytinga. Orsakasamhengið er sjaldan augljóst og ýmsir aðrir þættir nærstæðari en loftslagsbreytingar. Dæmi um slíka þætti eru tækifæri til mennta og atvinnu, betri lífsskilyrði o.s.frv. Frá um 1990 hefur íbúum fjölgað á Norðurlöndunum, bæði vegna náttúrulegrar fjölgunar innan hvers lands og innflutnings fólks frá öðrum heimssvæðum. Ísland er í engu undanskilið þessu og fylgir sama mynstri og sést í nágrannalöndunum. Helsta einkenni þessarar þróunar er þéttbýlisvæðing sem talin er eiga eftir að halda áfram næstu ár (Grunfelder o.fl., 2020; Timothy Heleniak og Gassen, 2020; Karlsdóttir o.fl., 2020; T. Heleniak og Sanchés Gassen, 2019; Stjernberg og Penje, 2019; Karlsdóttir o.fl., 2018).

Erfitt er að greina hvort straumur loftslagsflóttamanna sé þegar að berast til Íslands. Ljóst er að lífsafkoma fólks á sumum hnattsvæðum verður sífellt ótryggari vegna neikvæðra áhrifa loftslagsbreytinga. Við það bætist aukin samkeppni um náttúruauðlindir, stríðsögnir og pólitískur órói sem veldur því að fleiri færa sig um set. Í þessu samhengi er oft talað um að loftslagsbreytingar margfaldi aðrar ógnir (Huntjens og Nachbar, 2015). Það er því líklegt að meðal flóttamanna sem til Íslands koma í leit að öruggri afkomu sé fólk sem er á flóttu undan afleiðingum loftslagsbreytinga á lífsbjargir eða að flýja ástand þar sem loftslagsbreytingar eiga einhverja sök á aðstæðum.

Mikilvægt er að hafa í huga að fólksflutningar til Norðurlanda tengjast einnig þörf fyrir vinnuafli þar. Norðurlöndin eiga það sameiginlegt að leggja ríka áherslu á græn umskipti en þeim tengist aukin mannaflaþörf í grænum iðnaðarverkefnum. Það er því ljóst að þar kann að vanta þúsundir starfsfólks á næstu árum sem gæti kallað á aukinn innflutning fólks.

Hvað áhrif loftslagsbreytinga varðar þarf einnig að skoða áhrif aðgerða gegn loftslagsvá. Annars vegar þarf að greina á milli áhrifa loftslagsbreytinga á samfélög, byggðapróun og skipulag, þ.e. náttúrutengdar breytingar. Hins vegar þarf að skoða hvaða áhrif stefnumótun og pólitískar aðgerðir í loftslagsmálum hafa á ólíka hópa og samfélög og hegðunarmynstur fólks. Ávallt þarf að taka mið af réttlátum umskiptum þegar stjórnvöld marka stefnu í átt að grænna hagkerfi og samfélagi. Huga þarf að afdrifum ólíkra hópa, starfsstétta, fólks í þéttbýli og dreifbýli, mismunandi aldurshópa o.s.frv. Mikilvægt er að leitast við að ná jafnvægi milli ábata og ama svo einstakir hópar séu ekki ósáttir eða beri skardan hlut. Sem dæmi má nefna að tryggja staðbundinn hagnað af umskiptum í endurnýjanlega orkuframleiðslu (Cedergren o.fl., 2022; Karlsdóttir, 2022).

10.3.2 Áhrif loftslagsbreytinga á alþjóðleg viðskipti og vöruflutninga

Norræna ráðherranefndin stóð nýlega fyrir rannsóknaverkefni þar sem loftslagstengdar áskoranir þvert á landamæri (*e. transboundary climate risk*) á Norðurlöndunum voru skoðaðar (NKL, 2022). Covid-faraldurinn og eftirmálar hans hafa dregið fram áhættuþætti í hnattrænum aðfangakeðjum og sýnt fram á að Norðurlöndin geta orðið fyrir áhrifum vegna atburða fjarri þeim. Loftslagsbreytingar geta haft neikvæð áhrif á hagræna ferla á einum stað og valdið með því truflun á viðskiptum og öflun aðfanga á öðrum stað. Slík kerfisáhætta er iðulega flókin og erfitt getur verið að henda reiður á orsakasamhenginu.

Mikilvægt er að gera sér grein fyrir að loftslagsáhætta þvert á landamæri varðar ekki aðeins beinar afleiðingar loftslagsbreytinga heldur líka til hvaða aðgerða þjóðríki þurfa að grípa til þess að bregðast við þeim. En þær aðgerðir geta haft áhrif langt út fyrir landamæri. Dæmi um slíkt eru útflutningshömlur í kjölfar uppskerubrests (Anisimov og Magnan, 2023).

Náttúruleg áhrif loftslagsbreytinga ganga oft þvert á landamæri og það sama gildir um áhrif aðgerða á náttúrukerfi. Ýmis viðskiptakerfi, m.a. fjármálakerfi búa einnig við áhættu þvert á landamæri. Aðfangakeðjur, meðal annars hvað varðar eldsneyti, tæki, tækni, fjármagn og flutninga einkennast af flæði þvert á landamæri víða um heim. Þessar aðfangakeðjur geta auðveldlega geta orðið fyrir rökun vegna loftslagsbreytinga á fjarlægum svæðum. Dæmi um slíkt er öflun nauðsynlegra málma og íhluta frá fjarlægum slóðum sem nýttir eru til framleiðslu á tæknivörum á öðrum svæðum. Skemmst er að minnast flóða í Bangkok sem höfðu áhrif á framleiðslu íhluta í tölvur í Japan sem í kjölfarið höfðu áhrif á framleiðslukeðjur víða um heim (Anisimov og Magnan, 2023).

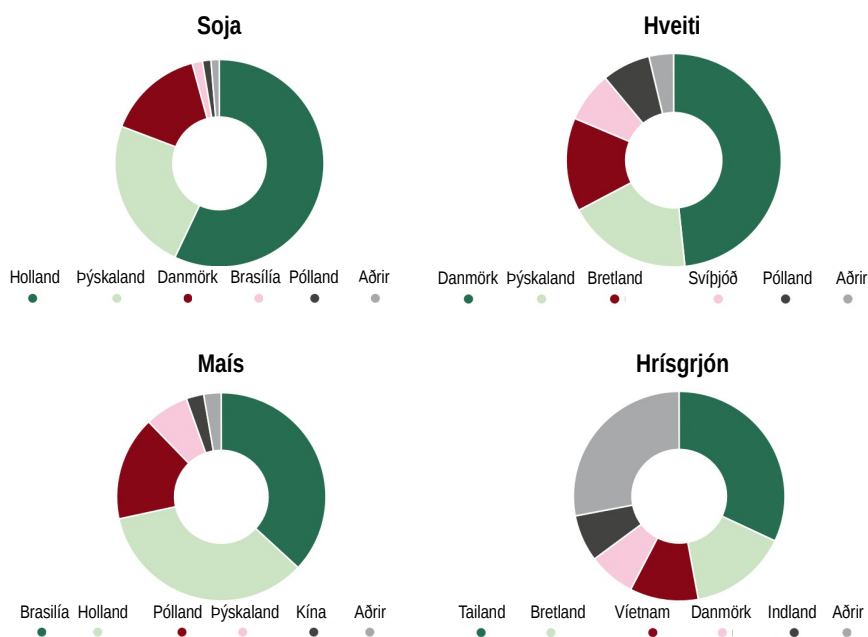
Ekki eru til aðgengilegar greiningar á aðfangakeðjum til Íslands. Þó er vitað að þær geta verið viðkvæmar fyrir truflun þar sem innflutningur er rakinn til tiltölulega fárra landa. Auk þess er umsjón og ábyrgð á aðfluttum varningi á höndum fárra aðila. Það flækir greiningar á aðfangakeðjum að vörur eru oft raktar til síðasta ríkis sem þær fóru um en ekki til upprunalands þeirra, sbr mynd 10.5. Vegna skorts á upplýsingum fyrir Ísland er það oftast skoðað í samhengi við hin Norðurlöndin, enda aðstæður um margt líkar (sjá t.d. NKL, 2022).

Loftslagsáhætta þvert á landamæri er meiri eftir því sem þjóðir eru háðari tengslum við umheiminn hvað varðar lífsnauðsynlega hluti. Staða Íslands getur því verið viðkvæm gagnvart áföllum, hvort sem um er að ræða óvænta pólitíska og efnahagslega atburði eða raskanir af völdum loftslagsbreytinga. Hagkerfi landsins er lítið og opið og mjög háð innflutningi og útflutningi og það sama á við um hin Norðurlöndin. Sem dæmi má nefna um helmingur af öllum matvælum Norðurlandanna eru innflutt og einnig eru landbúnaðarkerfin háð aðföngum annars staðar frá, einkum hvað varðar eldsneyti, áburð og dýrafóður. Þar að auki eru Norðurlöndin háð aðfluttu vinnuafli í nánast öllum atvinnugeirum og er matvælaframleiðsla þar ekki undanskilin. Nánar er fjallað um landbúnaðargeirann í næstu grein.

10.3.3 Áhrif loftslagsbreytinga á fæðukerfi

Neysla Íslendinga er mjög háð innflutningi. Í skýrslu starfshóps um neyðarbirgðir (2022) kemur fram að fæðuöryggi á Íslandi sé m.a. háð innflutningi á aðföngum til innlendrar framleiðslu og innflutningi matvæla. Samkvæmt skýrslu norræns starfshóps um fæðuöryggi á Norðurlöndunum (Ormstrup Vestergård o.fl., 2022) er innlend matvælaframleiðsla metin nærri helmingur af neyslu landsmanna. Mikill innflutningur neysluvarnings og aðfanga til hans þýðir að rúm 70% af útblæstri gróðurhúsalofttegunda af völdum neyslu Íslendinga fer fram erlendis (Clarke o.fl., 2017).

Þessar tölur um neyslu og losun gróðurhúsalofttegunda varpa ljósi á hið flókna net fæðukerfis Íslendinga og ljóst að það nær langt út fyrir landsteinana. Skýrt dæmi er notkun kjarnfóðurs í landbúnaði. Mjólk er ein mikilvægasta landbúnaðarafurð til manneldis hér á landi. Aukningu í mjólkurframleiðslu má fyrst og fremst rekja til aukinnar notkunar kjarnfóðurs í framleiðslunni. Kjarnfóður inniheldur sojamjól og því er ljóst að mjólkurframleiðsla er háð innflutningi á sojamjöli



Mynd 10.5: Innflutningur til Íslands á nokkrum flokkum matvöru. Vörur eru oft raktar til þess ríkis þar sem þær síðast fóru um eða voru meðhöndlaðar en ekki upprunalands, t.d. hrísgrjón frá Danmörku og soja frá Hollandi. Slíkar upplýsingar rugla greiningu á áhættu vegna loftslagsbreytinga í viðskiptalegu samhengi. (Byggt á mynd 10 í NKL, 2022).

og annarri fódurvöru (Erla Sturludóttir o.fl., 2021).

Lykilspurning fyrir matvælaöryggi tengt landbúnaði er hvað til bragðs skuli taka ef innflutningur á hráefni í dýrafóður bregst. Þó hér megi rækta gróffóður þarf til þess tæki og eldsneyti sem að stærstum hluta er innflutt. Spurningin snýr því líka að aðfangakeðjum fyrir innflutning sem landbúnaður er háður, s.s. tilbúins áburðar. Fiskeldi er einnig hluti af fæðukerfi Íslendinga sem háð er innfluttum aðföngum og því viðkvæmt fyrir rofi í aðfangakeðjum (Erla Sturludóttir o.fl., 2021).

Fyrirliggjandi gögn veita ekki heilstæða mynd af hinum mörgu þáttum fæðukerfis Íslendinga. Engum einum aðila er falið að halda utan um slíkar upplýsingar, þekking er dreifð um stofnanir og fyrirtæki og mikið um eyður. Vegna þessa er erfitt að leggja mat á möguleg áhrif loftslagsbreytinga á fæðukerfi Íslendinga en ofangreindar upplýsingar sýna þó að full ástæða er til að hafa varann á. Til þess að auka matvælaöryggi Íslands er mikilvægt að koma í veg fyrir sóun, gera fæðukerfið sjálfbærara og greina hversu mikið af innfluttum aðföngum megi framleiða hér á landi, m.a. í ljósi umtalsverðra beinna áhrifa loftslagsbreytinga á innlenda matvælaframleiðslu (sjá greinar 4.2 og 8.2).

10.3.4 Samantekt um flókna og kerfislæga áhættu í íslensku samhengi

Flókin og kerfislæg áhætta var ekki rædd sérstaklega í fyrri skýrslum vísindanefndar. Þar sem þetta er nýtt efni er við hæfi að draga saman helstu niðurstöður um flókna og kerfislæga áhættu sem verður að teljast veruleg í íslensku samhengi. Í fyrsta lagi má nefna innlenda kerfislæga áhættu sem getur stafað af áföllum innanlands sem hafa víðtæk áhrif. Dæmi um þetta eru sjávarstöðubreytingar sem geta haft áhrif á virði fasteigna á lágsvæði, það hafi áhrif á lánshæfi þeirra sem leiði til áhrifa á greiðslugetu eigenda og fjármálafyrirtæki. Flóknari áhætta getur verið fólgin í aðfangakeðjum vegna tenginga á milli fyrirtækja heimshorna á milli.

Áhrif loftslagsbreytinga á þjóðfélög og vistkerfi geta einnig teygst sig á milli landa. Veðuröfgar í einu landi geta haft áhrif á framleiðslu matvöru þar eða áhrif á framboð hráefnis til framleiðslu matvöru í öðru landi. Slíkt geti valdið verðhækkunum og þjóðfélagslegum óróa (Anisimov og Magnan, 2023). Hnignun vistkerfa eykst með loftslagsbreytingum og ágangi á þau. Neikvæð áhrif á lífsbjargir ýta undir fólksflutninga sem geta valdið verulegu álagi og þjóðfélagsróa í móttökulöndum.

Kerfisbundnar og flóknar áhættur vegna áfalla utan landssteina hafa lítið verið skoðaðar á Íslandi og því erfitt að meta áhættuna. Það er því þörf á átaki til þess að greina hana til hlítar. Þó er ljóst að íslenskt þjóðfélag kann að vera mjög berskjaldað gangvart sumum þessara áhættuþátta, m.a. þeim sem tengjast matvælaframleiðslu innanlands. Þegar áhættan er metin þarf að hafa í huga að í sumum tilvikum kann hættan að þykja ólíkleg en ef til vill vaxandi vegna loftslagsbreytinga. Í ljósi tjónnæmis og varnarleysis þjóðfélagsins gagnvart hættunni kann áhættan þó að vera mikil.

10.4 Náttúruvá – bein áhætta

10.4.1 Einstakir áhættuþættir

Í nýlegri stöðutöku á áhættumati vegna náttúruvá (Umhverfis-, orku- og loftslagsráðuneytið, 2023) segir:

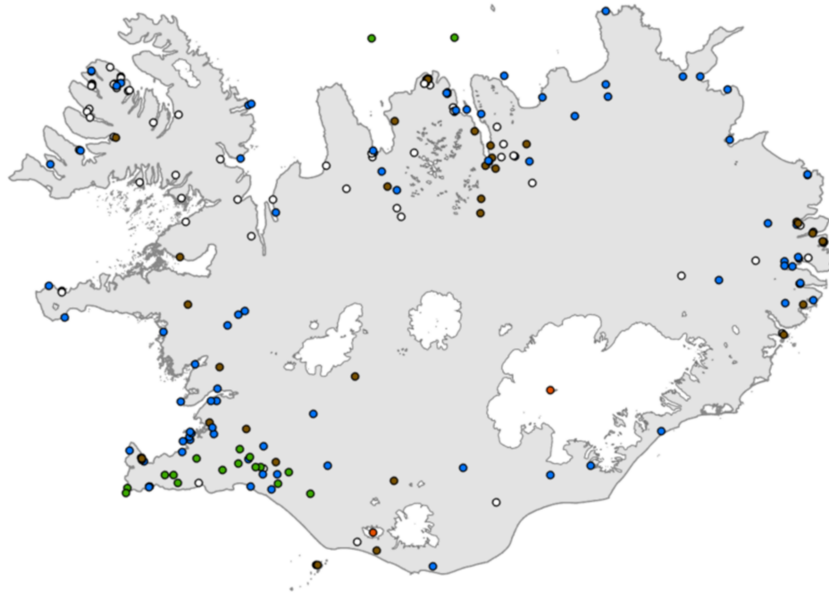
Heimsbyggðin stendur nú frammi fyrir afleiðingum loftslagsbreytinga, sem flokkast getur sem ein stærsta náttúruváin sem samfélagið þarf að takast á við. Búast má við aukinni tíðni ofsavæðra, aftaka úrkomu, þurrkum sem geta haft áhrif á tíðni gróðurelda, breytingar á sífrera og hopun jökla sem valdið geta auknum skriðum og berghlaupum, hopun jökla á eldvirkum svæðum getur jafnframt aukið tíðni eldsumbrota, breytingar á sjávarstöðu og margra afleiðdra þátta s.s. fæðuöryggi.

Ísland býr við margvíslega náttúruvá sem hefur í gegnum tíðina valdið miklu mann- og eignatjóni. Eins og rakið er í V2018 drógu breyttir útróðrarhættir, bætt veðurspá og skipuleg áhættustýring mjög úr manntjóni á sjó vegna óveðra á 20. öldinni. Auk þess sem efnahagsleg veðurtengd áhætta var meiri á tímum landbúnaðarþjóðfélags en nú er.

Ofanflóð (samheiti fyrir snjóflóð og skriður) er sú náttúruvá þar sem einstakir atburðir hafa valdið mestum mannskaða á Íslandi, en jarðskjálftar eru sú vá sem valdið hefur hvað mestu eignatjóni. Þá hafa eldgos valdið miklu tjóni frá því að land byggðist og geta eldgos nærri þéttbýli valdið miklu eignatjóni, samanber Vestmannaeyjagosið árið 1973 (Tómas Jóhannesson og Þorsteinn Arnalds, 2001a; Júlíus Sólmes o.fl., 2013).

Mynd 10.6 sýnir dreifingu tjóna sem Náttúruhamfaratrygging hefur bætt á undanförunum áratugum og greinilegt er að engir landshlutar eru undanskildir hvað náttúruvá varðar (Umhverfis-, orku- og loftslagsráðuneytið, 2023). Þrátt fyrir að þjóðfélagsbreytingar og áhættustýring hafi dregið úr sumum tegundum áhættu er nútímasamfélag á margan ákaflega berskjaldað. Samfélagið reidir sig á mikilvæga innviði, t.d. raforkuframleiðslu og -dreifingu, samskiptakerfi og samgöngur. Í gegnum tíðina hafa verulegir annmarkar komið í ljós hvað varðar þol þessara innviða gagnvart óveðrum. Sem dæmi má nefna fárviðri í desember 2019 sem olli því að á sumum svæðum lögðust samgöngur af og atvinnulíf lamaðist auk þess sem verulegar truflanir í flutningskerfi leiddu til áhrifa á fjarskiptakerfi (Stjórnarráðið, 2023).

Í kafla 12 í V2018 er rætt um einstaka áhættuþætti vegna náttúruvá. Eftirfarandi þættir voru ræddir og stuttlega farið yfir mat á áhrifum loftslagsbreytinga á þá: Hvassviðri og rigningarfloð, flóð í ám, sjávarflóð, ofanflóð, skógareldar og eldgos. Á síðustu árum hefur þekking á loftslagstengdri áhættu vegna þessara þátta aukist og er hún rædd hér að neðan.



Mynd 10.6: Staðsetning atburða sem Náttúruhamfaratrygging hefur bætt frá 1987 fram á mitt ár 2022. (Mynd byggð á gögnum NTÍ)

10.4.2 Aftakaveður

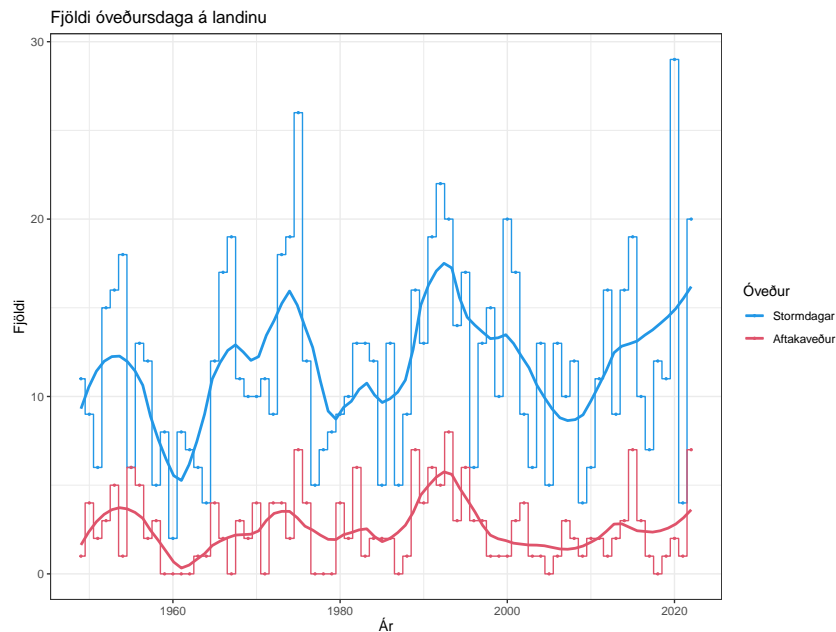
Eins og bent var á í grein 10.4.1 er þanþol íslensk þjóðfélags gagnvart aftakaveðri nú meira en á tímum landbúnaðarþjóðfélags og eldri útróðrarháttá. Eftir sem áður hefur nútímaþjóðfélag reynst berskjaldað fyrir óveðrum sem raska starfsemi mikilvægra innviða.

Ísland er hvasviðrasamt og foktjón hér á landi tiltölulega algengt, en fjöldi óveðursdaga á Íslandi sveiflast verulega milli ára og áratuga. Mynd 10.7 sýnir árstalningu á stormdögum (dögum þar sem vindhraði fer yfir 20 m/s á a.m.k. 25% veðurstöðva) og dögum með aftakaveðri (þar sem hlutfall stöðva er a.m.k. 45%). Myndin, sem er endurgerð á mynd 12.2 í V2018, sýnir áratugalangar sveiflur á fjölda stormdaga, en sú litla langtímahneigð sem sést í fjölda þeirra (ársauking um 3 daga á 70 árum) er ekki tölfræðilega marktæk. Álíka sveiflur (og engin marktæk hneigð) sjást í fjölda aftakaveðra. Síðustu ár hafa þó verið óvenju óveðrasöm samkvæmt þessari tölningu.

Á liðnum áratugum hefur líklega dregið úr styrk yfirborðsvinds yfir landi á hnattræna vísu en gagnasöfn sýna misvísandi niðurstöður yfir sjó. Mikilvægt er að hafa í huga að á svæðum þar sem hafisþekja minnkar eykst vindur að jafnaði og á þetta m.a. við svæði nærri Íslandi. Þannig eru merki um að vindur hafi aukist austan Grænlands (Gulev o.fl., 2021, sjá mynd 2.19). Dragi áfram úr útbreiðslu hafíss getur það aukið vindhraða í norðan- og norðvestanáttum. Í AR6 kemur fram að norður af 60°N sé ummerki um að styrkur aftakavinda hafi aukist þó reyndar sé *lítil vísu* fyrir aukingunni.

Annað atriði sem hefur áhrif á gang lægða við Ísland eru fyrirstöðuhæðir. Ólíkar samantektir um breytingar í tíðni fyrirstöðuhæða gefa mismunandi niðurstöður (sjá grein 8.3.2.7 í Douville o.fl., 2021). Nærri Grænlandi hefur tíðni fyrirstöðuhæða þó aukist að sumarlagi og vísbendingar eru um að breytingar á hitamun milli norðurslóða og hlýrri breiddargráða hafi breytt loftstraumum í háloftum þannig að fyrirstöðuhæðir og langvarandi afbrigði í veðri (t.d. hitabylgjur) aukist (Coumou o.fl., 2015; Kornhuber o.fl., 2020). Þó breytingar á fyrirstöðu hæðum séu almennt ekki marktækar geta fyrirstöðuhæðir yfir Grænlandi haft áhrif á lægðagang til Íslands. Niðurstöður sviðsmyndareikninga benda til þess að þeim geti fækkað að vetri til í framtíðinni, en IPCC telur *miðlungs vísu* fyrir fækkun fyrirstöðuhæða yfir Grænlandi að vetri (Lee o.fl., 2021, sjá mynd 4.28).

Á síðustu árum hefur athyglin beinst að rakaelfum (*e. Atmospheric Rivers*) en þær eru



Mynd 10.7: Fjöldi óveðursdaga á Íslandi á hverju ári frá 1949. Til að dagur teljist stormdagur þarf vindhraði að fara yfir 30 m/s á a.m.k. 25% veðurstöðva. Ef hlutfallið fer yfir 45% telst það aftakaveður.

rakar vindrastir í háloftunum sem geta borið vatnsgufu langar leiðir og valdið miklum rigningum. Haustið 2017 voru mikið um fellibylí á Norður-Atlantshafi og gætti áhrifa rakaelfa á hafsvæðinu, og m.a. urðu þá umtalsverð flóð austan lands og sunnan. IPCC telur *mikla vissu* fyrir því úrkoma tengd rakaelfum muni aukast með hlýnun (Douville o.fl., 2021; Seneviratne o.fl., 2021).

Í greinum 2.1.3.1 og 3.2.3 var fjallað um aftakaúrkomu og sérstaklega mestu úrkomu hvers sólarhrings (RXD1) og mestu fimm daga uppsafnaða úrkomu (RXD5). Síðari stærðin tengist hraða lægða sérstaklega, en hægfara kerfi geta skilað meiri úrkomu. Sérlega vantar rannsóknir á hraðabreytingum lægðakerfa á miðlægum breiddargráðum. Þó er vitað að hægfara kerfi tengjast samsettri áhættu þar sem nokkrir áhættuþættir fara saman (Sjá umfjöllun í 10.2.1 auk Seneviratne o.fl., 2021; Raymond o.fl., 2020).

Niðurstöður um tíðni óveðra má draga saman af eftirfarandi hátt. Þrátt fyrir hnattræna tilfærslu lægðabrauta í átt að pólsvæðum er ekki líklegt að slík tilfærsla eigi sér stað á Norður-Atlantshafi. Breytingar á tíðni fyrirstöðuhæða við Grænland gætu haft áhrif á tíðni lægða á Íslandi, en það fer eftir styrk þeirra og staðsetningu. Ekki er loku fyrir það skotið að færri fyrirstöðuhæðir við Grænland að vetri til leiði til aukins lægðagangs hérlendis. Yfirborðsvindar munu líklega verða sterkari við norður og vestur af landinu þar sem dregur úr hafis. Það getur haft áhrif á vindstyrk í norðanstæðum óveðrum. Líkanreikningar benda til þess að aftakaúrkoma geti aukist í takt við hlýnun, m.a. rakaelfa og langvinnari úrkomukafla.

10.4.3 Flóð í ám

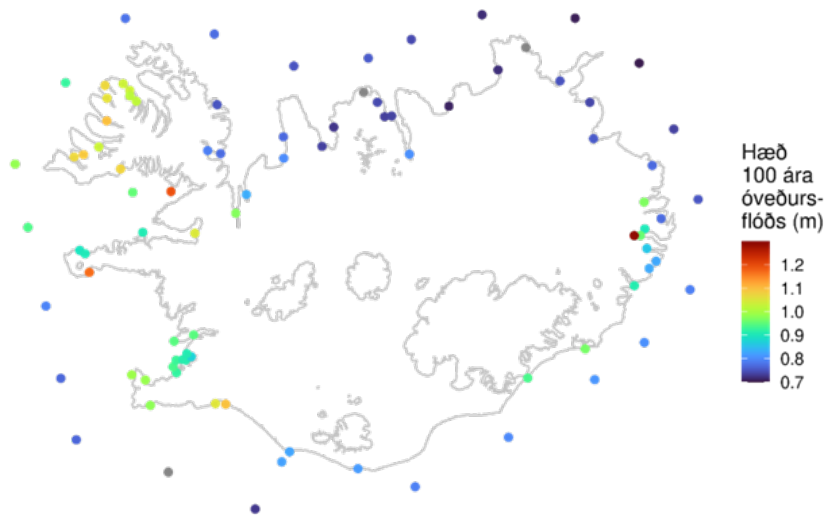
Fjallað er um flóð í ám í grein 12.2.1 í V2018 og í köflum 4.2 og 4.6 í V2008. Þar kemur fram að ásamt breytingum á flóðum vegna tíðari eða ákafari úrkomu skipta snjóalög og leysingar að vetri máli. Megináhersla fyrri vísindaskýrsla er að með hlýnun geti rigninga- og leysingaflóð færst ofar í landið og frammar í árið. Á svæðum þar sem vorflóð eru nú algengari verði vetrarflóð algengnari. Þá er mikilvægt að hafa í huga að tíðni jökulhlaupa breytist líklega samfara því sem jöklar þynnast og hopa. Þetta er samhljóma umræðu í greinum 2.2.2 og 2.2.1, en þar er fjallað um þessar niðurstöður í meiri smáatriðum en í fyrri skýrslum. Eins bætir umfjöllun í 2.4 við fyrri skýrslur.

Niðurstaða samantekta í köflum 2 og 3 er sú að gera verður ráð fyrir meiri aftakaúrkomu og aukningu á árflóðum. Þá munu breytingar á hlutfalli rigningar og snævar í úrkomu hafa í för með sér tilfærslu flóða á milli árstíða. Tafla 3.9 sýnir að líkur á aftakaúrkomu sem nú telst sjaldgæf muni aukast. Tafla 2.3 sýnir samband stærðar sjaldgæfra flóða og algengari flóða. Af henni má ráða að mikilvægt sé að fylgjast með breytingum á stærð algengari flóða í ám því þær geti verið vísibending um líklegar breytingar á stærð sjaldgæfari flóða.

Mörg dæmi eru um jökulhlaup vegna eldgosa undir jökulum, úr jökulstífluðum lónum við jökuljæðra og undan jökulum. Umfang slíkra flóða mun taka breytingum í takt við massatap jökla. Aukin flóðahætta getur einnig tengst nýjum jaðarlónum en nýr áhættuþáttur er hættan á berghruni í jaðarlón sem getur valdið verulegu flóði. Í V2018 er m.a. rætt um slíkt flóð sem átti sér árið 1967 þegar stórt bergflóð féll á Steinsholtsjökul og í jaðarlón hans. Nýleg sprunga sem fannst í Svínafelli sýnir þá hættu sem kann að stafa af því að hrún falli á Svínafellsjökul og flóð verði frá jaðarlóninu sem myndast hefur fyrir framan jökulinn. Svæðið er ákaflega vinsælt meðal ferðamanna og byggð hefur verið upp aðstaða fyrir ferðamenn fyrir framan jökulöldunar á svæðinu.

10.4.4 Sjávarflóð

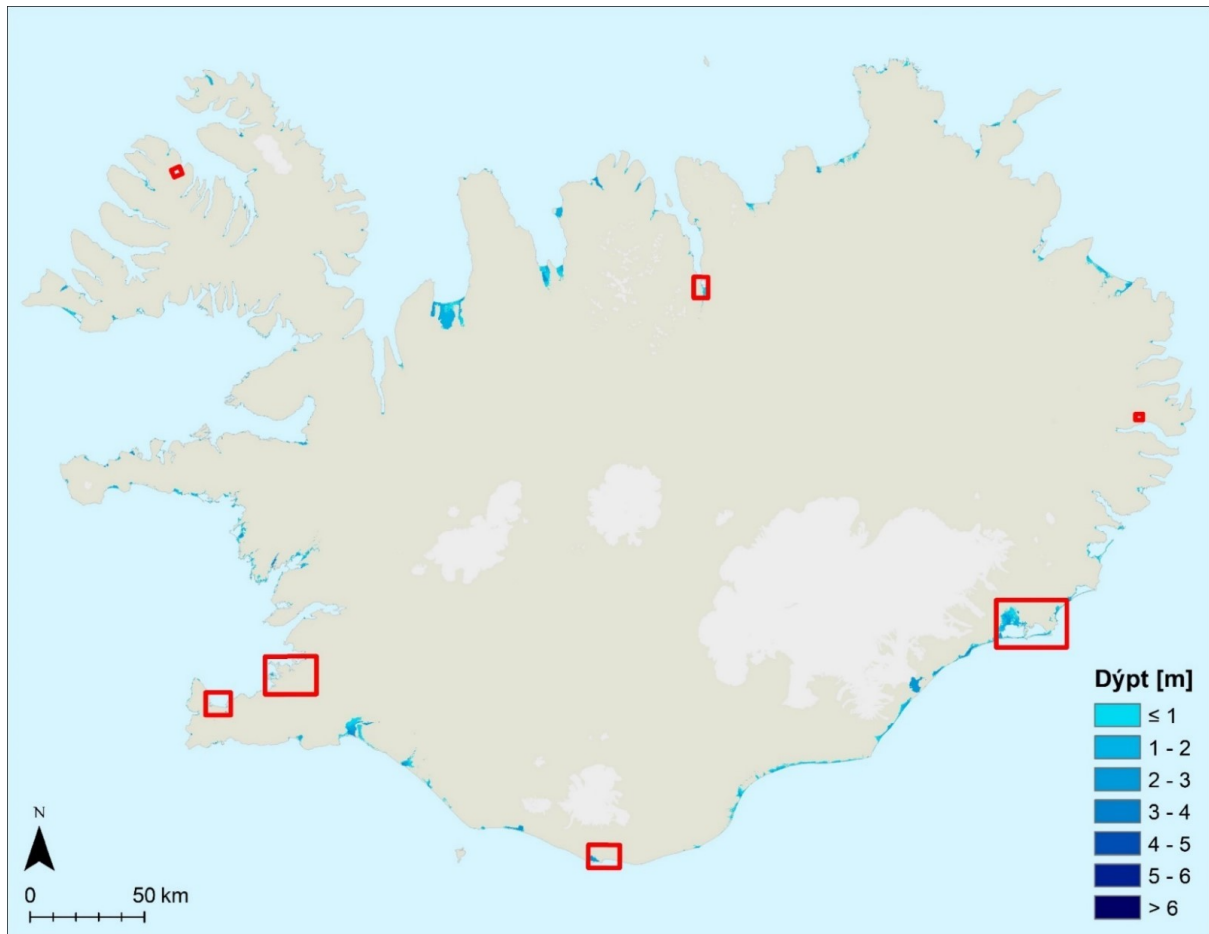
Grein 12.1.3 í V2018 fjallaði nokkuð ítarlega um stöðu þekkingar á sjávarflóðum á Íslandi; söguleg flóð, tíðni markverða flóða og alvarlegustu flóð. Ýmiss náttúrvá er þess eðlis að hægt er að meta hundrað ára gildi og fyrir aftakasjávarflóð er metið 100 ára flóð, eða sú flóðahæð sem hefur 1% árslíkur. Það þýðir þó ekki endilega að flóðið hendi á 100 ára fresti, t.d. eru rúmlega fjórðungslíkur á að 100 ára atburður hendi tvisvar á hverju 100 ára tímabili (sjá grein 12A í V2018).



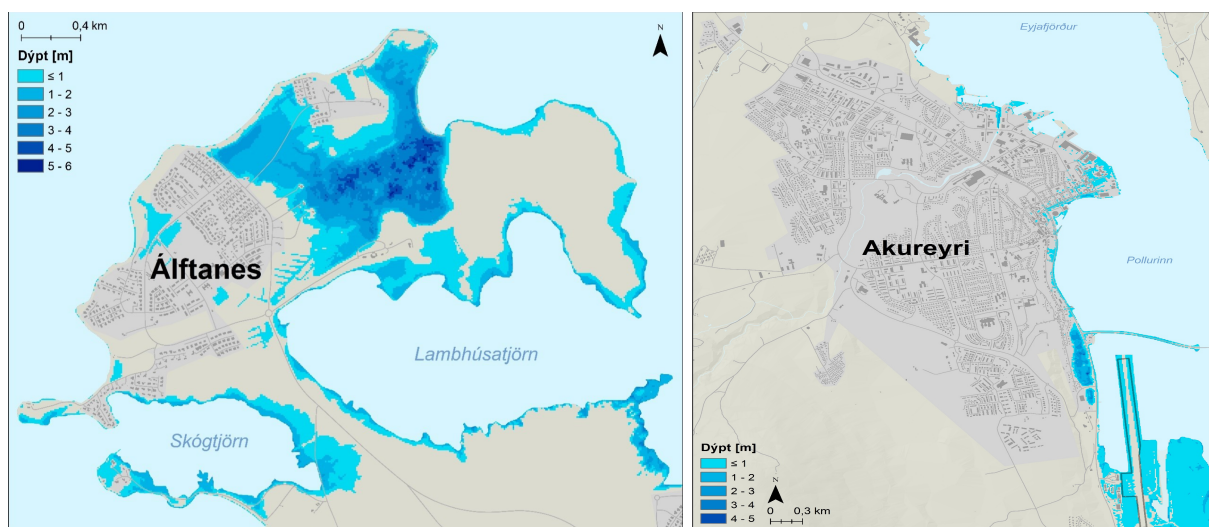
Mynd 10.8: Hæð flóðs með 1% árslíkur (100 ára flóð) umhverfis landið samkvæmt útreikningum með Delft3D-FM líkaninu. (Halldór Björnsson o.fl., 2022, mynd A7))

Þegar síðasta vísindaskýrsla kom út lá einungis fyrir gott mat á 100 ára flóðahæðar fyrir Reykjavík þar sem ekki voru til nægilega langar góðar mæliraddir til þess að vinna slíkt mat fyrir önnur svæði landsins. Nýlega kom út mat á hæð 100 ára flóða umhverfis landið byggt á líkanreikningum (Halldór Björnsson o.fl., 2022) og sýnir mynd 10.8 niðurstöður matsins fyrir reiknaþunkta umhverfis landið. Eins og sjá má er hæð 100 ára óveðursflóðs um 1 m víða vestanlands en á bilinu 0.7 til 0.8 m við ströndina norðanlands og nær 0.9 m austan- og sunnanlands.

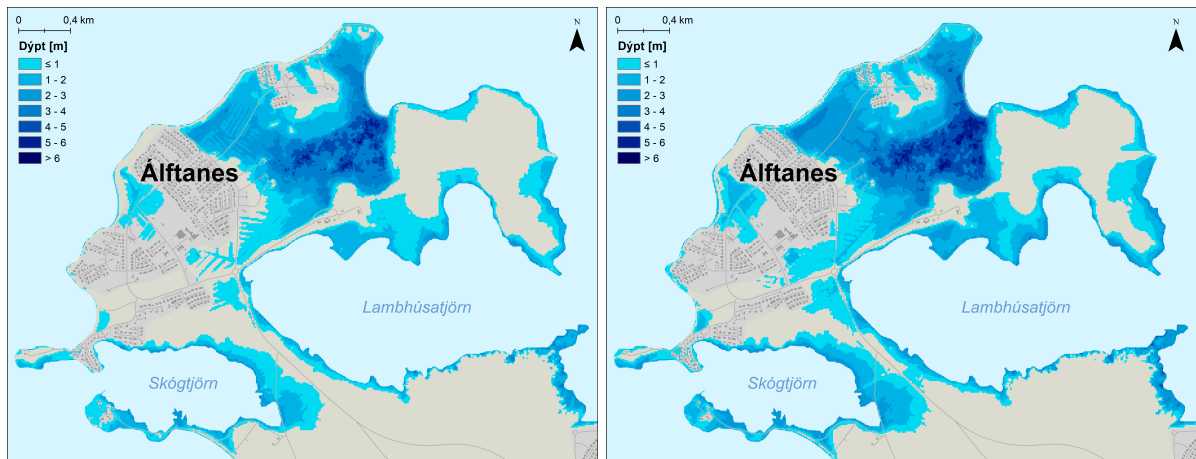
Til þess að leggja mat á hversu langt á land flóð af þessu tagi gengur var tekið tillit til sjávarfalla og líkur metnar á því að óveðursflóð af þessari stærðargráðu eigi sér stað nærri háflæði. Einnig var reiknað úr hversu langt á land flóð af þessari stærðargráðu geti náð en til þess var notað kort byggt á IslandDEM hæðargögnum (Landmælingar Íslands, 2020). Mynd 10.9 sýnir yfirlitsmynd yfir svæði í flóðahættu í 100 ára flóði við núverandi aðstæður. Eins og gefur að skilja mun 100



Mynd 10.9: Yfirlit um þau svæði þar sem 100 ára flóðið gengur nokkuð á land. (Halldór Björnsson o.fl., 2022, mynd 2).



Mynd 10.10: Svæði á Álftanesi og Akureyri sem geta flætt í 100 ára flóði miðað við núverandi sjávarstöðu (Halldór Björnsson o.fl., 2022, myndir 4 og 9).



Mynd 10.11: Svæði á Álftanesi sem geta flætt í 100 ára flóði árið 2150 eftir að sjávarstöðuhækkun samkvæmt sviðsmyndum SSP5-8.5 og SSP5-8.5LC.

ára flóð aðeins ganga á land á láglandissvæðum. Eigi slíkt sér stað í byggðakjörnum getur það valdið vandræðum. Mynd 10.10 sýnir dæmi um flóðahættu í þéttbýli en með niðurstöðum rannsóknarinnar voru birt sambærileg kort fyrir alla byggðakjarna við strönd Íslands.

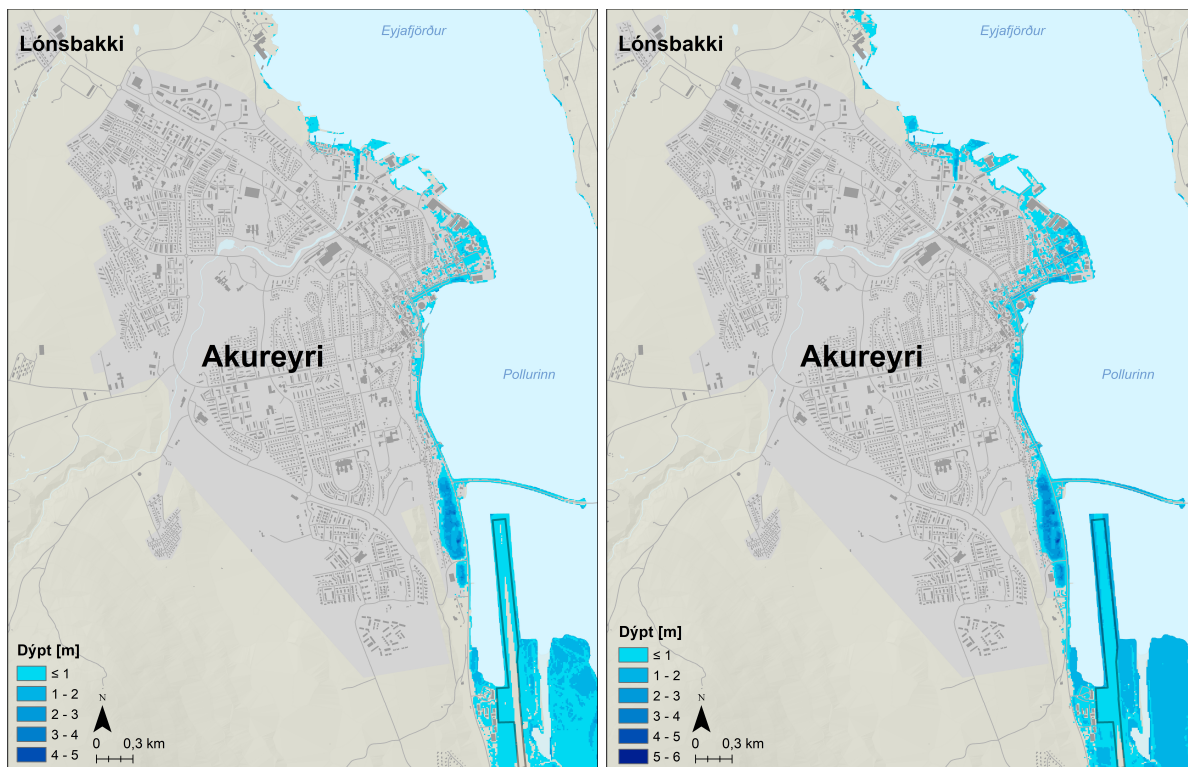
Í grein 2.5 voru sjávarstöðubreytingar við Ísland ræddar og töflur 2.10 og 2.11 sýndu mat á afstæðri sjávarstöðuhækkun fyrir 17 staði umhverfis landið í lok aldarinnar og árið 2150. Í nýlegri skýrslu (Halldór Björnsson o.fl., 2023) eru niðurstöður í grein 2.5 lagðar við flóðin á mynd 10.9 og útbreiðsla aftakaflóða árin 2100 og 2150 reiknuð fyrir tvær ólíkar sviðsmyndir og alla byggðakjarna við strönd Íslands. Dæmi um niðurstöður má sjá á myndum 10.11 og 10.12 sem sýna kort af útbreiðslu 100 ára flóðs á Álftanesi og Akureyri árið 2150 fyrir sviðsmyndir SSP5-8.5 og SSP5-8.5LC. Þetta eru sviðsmynd mestu losunar og sviðsmynd þar sem viðbótarmassatap á sér stað Suðurskautslandi og Grænlandi sem leiðir til enn meiri sjávarstöðuhækkunar (sjá töflu 2.11). Myndin er af útreikningum fyrir árið 2150, en kortin sýna núverandi byggð og strandlínu.

Það kemur ekki á óvart að myndir 10.11 og 10.12 sýna að flóðahætta aukist með hækkun sjávar. Það vekur hinsvegar athygli að oft er hæðarsnið lágsvæðis í byggð þannig að svæði sem kann að flæða við núverandi aðstæður stækkar lítið þó sjávarstaða hækki. Þetta hefur áhrif á áhættumat og stýringu, en raunveruleg áhætta vegna sjávarflóða árið 2150 fer eftir því hversu mikið sjávarstaða hækkar og ekki síður þróun byggðar. Til að draga úr framtíðartjóni þarf þróun byggðar á næstu 130 árum að vera í samræmi við þá áhættu sem byggð á lágsvæðum kann að hafa í för með sér.

Í síðustu vísindaskýrslum er ítrekað að loftslagsbreytingar munu hafa mikil áhrif á þróun hættu vegna sjávarflóða og í grein 12.1.3.6 í V2018 er fjallað um áhættustýringu vegna sjávarflóða. Eins og kemur fram í 1. kafla munu hnattrænar sjávarstöðubreytingar halda áfram öldum saman og því ljóst að taka verður hættu á sjávarflóðum alvarlega á flestum lágsvæðum hér á landi. Aðferðir við áhættumat vegna strandflóða og sjávarstöðuhækkunar í nágrennalöndum og yfirfærsla þeirra á íslenskar aðstæður er rædd í nýlegri skýrslu (Guðrún Elín Jóhannsdóttir, 2020). Í grein 11.6 er fjallað um sjávarstöðubreytingar og skipulagsmál, og í grein 2.5 er lögð áhersla á að sjávarstöðuhækkun vegna loftslagsbreytinga mun halda áfram öldum saman.

Í Hvítbók um aðlögun að loftslagsbreytingum (2021) er fjallað um áhrif sjávarflóða á fráveitur og skipulagsmál og bent á mikilvægi þess að sveitarstjórnir setji sér stefnu um aðlögun byggðar að afleiðingum loftslagsbreytinga. Hvað varðar skipulag strandsvæða er í landsskipulagsstefnu 2015 – 2026 tekið fram að bráðnun jökla og hækkun sjávarborðs geri það að verkum að skipulag þurfi að hafa til að bera seiglu til að geta svarað breyttum þörfum og aðstæðum (Skipulagsstofnun, 2016).

Á síðustu árum hefur sífellt meiri áhersla verið lögð á sveigjanlegar leiðir til þess að bregðast



Mynd 10.12: Svæði á Akureyri sem geta flætt í 100 ára flóði árið 2150 eftir að sjávarstöðuhækkun samkvæmt sviðsmyndum SSP5-8.5 og SSP5-8.5LC.

við sjávarstöðubreytingum. Í skýrslu IPCC (2022) er rætt um mikilvægi þess að skipulag geti aðlagast breytingum (sjá box 11.6 í Lawrence o.fl. (2022) og Bednar-Friedl o.fl. (2022)). Dæmi um slíkt er aðferðafræði, sem kennd er við kvika aðlögun, þar sem gert er ráð fyrir nokkrum leiðum við landnýtingu og fyrirfram ákveðnar vörður ráða því hvar skipt er á milli leiða (Kool o.fl., 2020). Þessa aðferðafræði mætti til dæmis nýta fyrir uppbyggt hverfi þar sem hætta á sjávarflóðum vex með tíma. Í þessu hverfi væru þrjár leiðir færar til þess að bregðast við afleiðingum loftslagsbreytinga: byggja sjóvarnir, auka flóðaþol hverfisins og yfirgefa svæðið (og/eða færa byggðina). Með því að skipuleggja fyrirfram hvernig farið er frá einu viðbragði yfir í annað er reynt að komast hjá ósveigjanlegu skipulagi sem gæti endað í öngstræti.

10.4.5 Ofanflóð

Snjóflóð og skriðuföll hafa valdið mörgum slysum og stórfelldu fjárhagslegu tjóni hér á landi. Á tuttugustu öld fórust samtals 193 af þessum völdum, þar af 69 eftir 1974. Beint fjárhagslegt tjón vegna snjóflóða og skriðufalla frá 1974 til 2000 hefur verið metið yfir 3,3 milljarðar kr. (Tómas Jóhannesson og Þorsteinn Arnalds, 2001b). Ofanflóð og loftslagsbreytingar voru ræddar í fyrri skýrslum vísindanefndar (V2008 og V2018). Þar kom fram að ekki eru forsendur til að ætla að loftslagsbreytingar dragi úr snjóflóðahættu á næstu áratugum. Aukin aftakaúrkoma gæti valdið meiri skriðuhættu, en rætt er um aftakaúrkomu í tengslum við skriðuföllin á Seyðisfirði í 2.1.3.1. Þá getur hætta á skriðuföllum aukist við bráðnun sífrera (Morino, 2018) eins og rætt er nokkuð ítarlega í grein 12.1.4 í V2018. Þar er bent á að útbreiðsla sífrera á Íslandi er illa þekkt, sérstaklega í fjallendi. Á síðustu árum hafa verið birtar nokkrar rannsóknir á jarðvegsskriði í fjallshlíðum mælt með fjarkönnun (Cao o.fl., 2023; Dittrich o.fl., 2022). Í ljós hefur komið að skrið jarðvegs í fjallshlíðum virðist vera nokkuð viðvarandi en þessar rannsóknaniðurstöður sýna að beita má fjarkönnun til þess að hafa stöðugt eftirlit með fjallshlíðum og kanna hraðabreytingar í skriði, m.a. þær sem kunna að stafa af bráðnun sífrera.

V2018 ræðir einnig að við hop og þynningu skriðjökla geti skapast aðstæður þar sem fjallshlíðar umhverfis þá verða óstöðugar með aukinni hættu á skriðuföllum. Rakin eru dæmi um slík skriðuföll og í grein 10.4.3 var minnst á Svínafellsheiði og hættuna á því að þar falli skriða í jaðarlón Svínafellsjökuls (Sæmundsson o.fl., 2019). Slík skriðuföll hafa verið rannsökuð nokkuð á undanförunum árum (Ben-Yehoshua o.fl., 2022; Lacroix o.fl., 2022) og skilningur á hættunni því aukist. Rannsóknir á skriðuföllum almennt (Elíasson og Sæmundsson, 2021) og tíðni þeirra á Íslandi sýna að tíðni stærri skriðufalla ($> 300.000m^3$) hefur aukist á síðustu 20 árum miðað við síðari hluta 20. aldar. Þó ekki sé hægt að rekja öll ofanflóð til loftslagsbreytinga er ljóst að þær skapa aðstæður sem geta leitt til þess að skriðuföll verða tíðari (Sæmundsson og Helgason, 2022).

Aukning áhættu af skriðuföllum vegna loftslagsbreytinga gerir kröfur um áframhaldandi eftirlit og rannsóknir. Þá er mikilvægt að gert sé ráð fyrir áhættumati og eftirfylgni þess við gerð skipulags, eins og rætt er í greinum 10.4.1 og 10.5.3.

10.4.6 Gróðureldar

Rætt er um gróðurelda og hættu á þeim í kafla 12.1.5 í V2018 og í kafla 4.6 V2008. Þar er meðal annars bent á að með meiri framleiðni gróðurs, aukinni útbreiðslu skóga og minnkandi beit aukist hætta á gróður- og skógareldum. Á síðustu árum hafa þessar aðstæður raungerst. Náttúrufræðistofnun hefur haldið utan um kortlagningu á stærri gróðureldum frá árinu 2006 (Náttúrufræðistofnun Íslands, 2023) og lista yfir þá má sjá í töflu 10.1.

Í nýlegri greinargerð stýrihóps um forvarnir gegn gróðureldum kemur fram að skógar- og kjarreldar séu nýr veruleiki sem takast þurfi á við á Íslandi og hætta á gróðureldum hafi margfaldast á undanförunum áratugum. Kröfur til varna og viðbúnaðar hafi ekki aukist með breyttu veðurfari og landnýtingu, m.a. landvernd og skógrækt. Skráningar á gróðureldum leiði í ljós að algengustu orsakir séu eldingar, atvinnustarfsemi, frístundaiðkun og íkveikja, þ.e. að orsakir séu langoftast af mannavöldum (Stýrihópur, 2018). Öflug trjárækt í sumarhúsabyggðum eykur áhættuna þar en á síðustu árum hefur verið gefið út fræðsluefni til almennings um gróðurelda, m.a. sniðið að sumarhúsaeigendum (Stýrihópur um forvarnaaðgerðir gegn gróðureldum á Íslandi, 2020). Efnið var gefið út í samstarfi nokkurra stofnana en hafði ekki lögformlega stöðu innan stjórnkerfisins.

Aukin hætta á skógareldum er rædd í Hvítbók um aðlögun að loftslagsbreytingum (2021) og í landsskipulagsstefnu (Skipulagsstofnun, 2016) er lögð áhersla á að við gerð aðalskipulags sé m.a. tekið tillit til náttúruvár, s.s. gróðurelda. Í stefnunni er tekið fram að sveitarfélög skuli byggja á bestu fáanlegum upplýsingum.

Einungis virðist tímaspursmál að það komi til stórbruna í sumarhúsabyggð eða á öðrum uppræktuðum svæðum. Í ljósi ofanskráðs er mikilvægt að áhættumat vegna gróðurelda fái samskonar farveg og aðrar náttúruvár og tryggt sé að sérfróðir aðilar um þessa vá hafi formlegan samstarfsvettvang.

10.4.7 Eldgos

Stuttlega er fjallað um eldgos og áhrif loftslagsbreytinga á þau í grein 12.1.6 í V2018 og í grein 4.6 í V2008. Viðamikil umfjöllun er um þá náttúruvá sem stafar af íslenskum eldfjöllum í nýlegri bók (Júlíus Sólmes o.fl., 2013). Síðan V2018 kom út hefur aðgengi að upplýsingum um íslensk eldfjöl verið stórbætt með vefsíðu (Íslands o.fl., 2014) þar sem finna má ítarlegar upplýsingar um eldfjöll Íslands. Rýrnun jökla veldur farglosun nedarlega í jarðskorpunni sem eykur að öðru óbreyttu kvikuframleiðslu og nái kvikan yfirborði gæti það aukið tíðni eldgosu eða valdið umfangsmeiri gosum. Rætt er um mat því hversu mikil kvika kann að myndast vegna þessa í V2018 og bent á að eðlilegt sé að áhætta vegna hugsanlegrar aukningar á eldgosum sem tengist þynningu jökla sé meðhöndluð sem hluti þess mats á eldgosasáhættu sem þegar er í gangi, sjá grein 10.4.1. Rætt er um jökulhaup í 10.4.3 en þau geta stafað af eldgosi undir jökli og unnið hefur verið að því að meta áhættu vegna þeirra (Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., 2016; Einarsson o.fl., 2022).

Ár	Dagsetning	Svæði	Flatarmál lands sem brann (ha)
2021	11. maí	Gosstöðvar við Fagradalsfjall	31
2021	4. maí	Heiðmörk, Reykjavík	56.5
2021	15. apríl	Vífilsstaðir, Fljótsdalshéraði	–
2021	2. febrúar	Við Korpúlfsstaðaveg	–
2020	18. maí	Norðurárdalur, Borgarfirði	13.2
2020	6. maí	Vestaráland II, Öxarfirði	49.6
2020	5. maí	Vík, Kjalarnesi	1.35
2017	11. maí	Dalur, Eyja- og Miklaholtshreppi	42.4
2017	15. apríl	Grótta	0.14
2017	14. apríl	Ketilsstaðir, Dalabyggð	16.9
2015	13. maí	Almannadalur, Reykjavík	0.25
2015	2. maí	Fáskrúðarbakki, Snæfellsnesi	319
2015	1. maí	Norðan Stokkseyrar	18
2013	31. mars	Merkihvoll á Landi	2
2013	30. mars	Hvammur í Skorradal	0.3
2013	25. mars	Gröf í Lundarreykjadal	39
2012	3. ágúst	Hrafnabjörg í Laugardal í Ísafjarðardjúpi	15
2012	16. júní	Ásland í Hafnarfirði	1
2012	6. júní	Heiðmörk	0.4
2010	26. maí	Jarðlungsstaðir á Mýrum	13
2009	22. júlí	Við Helgafell ofan Hafnarfjarðar	8
2009	5. júní	Víðivallargerði í Fljótsdal	0.5
2008	29. apríl	Útmörk Hafnarfjarðar	13
2008	16. apríl	Kross og Frakkanes á Skarðsströnd	105
2007	23. júní	Miðdalsheiði	9
2006	30. mars	Mýrar	6700

Tafla 10.1: Kortlagðir gróðureldar frá árinu 2006 - 2021 (Náttúrufræðistofnun Íslands, 2023).

10.5 Stýring áhættu vegna loftslagsbreytinga

Eins og fram hefur komið í þessum kafla hafa loftslagsbreytingar í för með sér margskonar áhættu. Annars vegar áhættu sem stafar af svörun flókinna kerfa innanlands sem utan við mögulegri röskun. Hins vegar áhættu frá innlendri náttúruvá. Hér verður stuttlega rætt um aðferðir til að stýra áhættu, annars vegar kerfisáhættu og hins vegar náttúruvá. Í lokin er stutt samantekt um það sem er sammerkt í stýringu þessarar ólíku áhættu.

10.5.1 Viðbrögð við kerfislægri áhættu

Stýring áhættu gagnvart því tjóni sem loftslagsbreytingar kunna að valda fellur undir það sem kallað er aðlögun að loftslagsbreytingum. Síðan V2018 kom út hafa verið tekin stór skref til þess að hefja undirbúning aðlögunar hér á landi, meðal annars með útgáfu Hvítbókar um aðlögun að loftslagsbreytingum (Hvítbók, 2021). Þar er meðal annars fjallað um kerfislæga áhættu og mælt með eftirtöldum atriðum í því samhengi:

- ... greiningum, áhættumati til skemmri og lengri tíma sem tekur bæði til beinnar áhættu og kerfislægrar eða afleiddrar áhættu vegna áhrifa loftslagsbreytinga (Hvítbók, bls. 18).
- Ekki nægir að horfa til beinna áhrifa loftslagsbreytinga hér á landi heldur þarf einnig að horfa til afleiddra áhrifa breytinganna sem eiga sér stað bæði hér á landi og erlendis. Slík

afleidd áhrif, einnig nefnd kerfislæg áhætta, geta t.a.m. birst í breytingum á búsetuþróun sem rekja má til breyttra forsendna í landbúnaði vegna hlýnunar veðurfars eða breytinga á nýtingu sjávarauðlinda vegna súrnunar sjávar (Hvítbók, bls. 26).

- Kanna ætti sérstaklega nauðsyn á aðgerðum vegna afleiddra áhrifa loftslagsbreytinga, t.d. vegna áhrifa utan landsteinanna, á svæði eða geira sem áætlanagerð snýr að, samanber umræðu um kerfislæga áhættu í inngangi og heildræna sýn á slík áhrif í kafla 11 um samfélagslega innviði og þjóðarhag (Hvítbók, bls. 66).
- Skoða þarf einnig afleidd áhrif loftslagsbreytinga á atvinnulífið. Hér er einkum átt við kerfislæga áhættu eins og fjallað er um í kafla 2.5 (Hvítbók, bls. 43).
- Kanna ætti sérstaklega kerfislæga áhættu fyrir ferðaþjónustu vegna áhrifa loftslagsbreytinga innan annarra geira eða utan landsteinanna (Hvítbók, bls. 48).
- Kanna þarf kerfislæga áhættu fyrir aðra félagslega innviði á Íslandi ef vera skyldi að fjöldi ferðamanna ykist eða drægist saman vegna áhrifa loftslagsbreytinga innanlands eða utan (Hvítbók, bls. 49).

Aðlögun án landamæra (AWB, 2023) er alþjóðlegt verkefni sem miðar að samstarfi hópa frá ólíkum þjóðum og geirum. Nýleg skýrsla þeirra um hnattrænar áhættur þvert á landamæri (Anisimov og Magnan, 2023) fjallar meðal annars um til hvaða aðgerða megi grípa til að greina og stýra áhættunni. Þar kemur fram að almennt sé lítið til af ítarlegum vísindalegum rannsóknum á eðli þeirrar loftslagsáhættu sem gengur þvert á landamæri, hvort sem um er að ræða eðli, tímakvarða eða hvernig áhættan liggur þvert á kerfi eða á milli þeirra.

Í skýrslunni er bent á að til staðar sé nálgun á því hvernig rannsaka megi þessar áhættur með að það markmiði að draga úr þeim (Harris o.fl., 2022). Þar er verkefnið brotið niður í sjö skref. Í því fyrsta er umfang áhættunnar skilgreint með því að marka hversu langt rannsóknin nær og hversu víðfedm áhættan sé. Þessar niðurstöður eru svo notaðar til þess að flokka áhættuna samkvæmt fyrirfram ákveðinni aðferðafræði (Harris o.fl., 2022). Því næst er áhættan metin með tæknilegri áhættugreiningu þar sem reynt er að fylgja áhrifaþáttum í gegnum kerfið og með því að skoða hvert viðhorf og skilningur hagsmunaaðila er gagnvart henni. Að þessari greiningu lokinni er reynt að ákvarða hver ber ábyrgð á áhættunni, hver ber tjónið og hver á að stýra henni. Þá er gerð samantekt þar sem niðurstöður fyrri skrefa eru teknar saman og mat lagt á hversu mikil áhættan sé, hversu auðvelt sé að glíma við hana og hverjar afleiðingar hennar séu. Í kjölfarið eru möguleikar til aðlögunar skoðaðir og greint hvernig áhættan liggur gagnvart ólíkum aðilum og hverjir möguleikar þeirra séu til að bregðast við. Loks eru niðurstöður kynntar hagaðilum, farið yfir möguleika til viðbragða með þeim og ferlið jafnvel ítrað í ljósi nýrra upplýsinga.

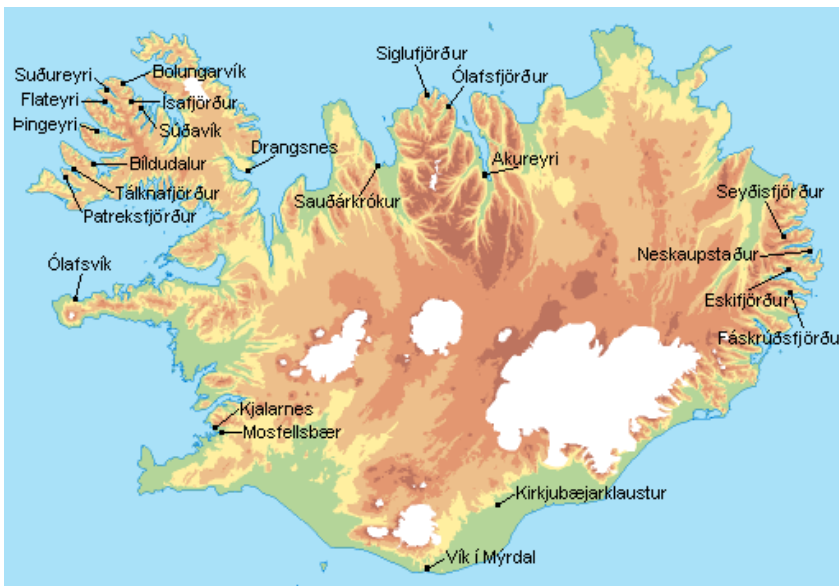
Í skýrslu Anisimov og Magnan (2023) er bent á að þegar áhættur þvert á landamæri eru metnar sé mikilvægt að gæta þess að jafnvægi sé á milli ítarlegra og nákvæmra niðurstaðna og einfaldra og skiljanlegra niðurstaðna svo að stefnumótendur geti nýtt sér þær. Einnig skipti máli að greina hvaða stefnum eða málaflokkum áhættur tilheyra. Loks skipti máli að stefnumótendur vinni í samráði við sérfróða aðila um það hvernig nýta megi sviðsmyndir af þróun loftslags og hagrænni þróun til þess að skipuleggja viðbrögð í samræmi við tímaramma áhættunnar. Nýleg aðferð til að nálgast greiningu á því hverjar afleiðingar atburðar geta verið er söguaðferðin (Shepherd og Truong, 2023). Þar er lagt upp með ítarlega lýsingu á atburði sem sérflóðir aðilar nota til þess að greina hvaða röð atburða hann gæti sett af stað. Dæmi gæti verið uppskerubrestur og aðfangakeðja, aftakaveður og orkuflutningskerfi eða önnur slík atvik þar sem einn atburður hefur keðjuverkandi áhrif. Slíka úrvinnslu er hægt að gera formlegri, m.a. með því að nota svokallað Bayesísk orsakarnet (Kunimitsu o.fl., 2023), sem getur hjálpað við að forgangsraða aðgerðum sem grípa þarf til.

10.5.2 Áhættustýringar og náttúruvá

Eins og rakið var að framan hafa Sameinuðu þjóðirnar haft forystu um skipulagða áhættustýringu sem ætlað er að draga úr áhrifum náttúruvá á heimsvísu og hefur skrifstofa þeirra UNDRR (2023) stýrt því starfi. Hluti þess er Sendai sáttmálinn (UNDRR, 2015) sem Ísland er aðili að. Á Íslandi er hættu- og áhættumat vegna náttúruvá unnið í samræmi við hann með það að markmiði að gera samfélagið betur í stakk búið til að takast á við náttúruvá (Umhverfis-, orku- og loftslagsráðuneytið, 2023). Hættu- og áhættumat vegna náttúruvá eru sífelluverkefni sem endurskoða þarf reglulega og þarf að taka mið af þróun loftslagsbreytinga, sviðsmyndum, tækniþróun, betri gagnasöfnum, niðurstöðum rannsókna, aðlögunaraðgerðum, þróun samfélagsins og áhættuviðmiðum (Umhverfis-, orku- og loftslagsráðuneytið, 2023).

Reynslan sýnir að mikilvæg forvörn vegna náttúruvá er gott skipulag sem byggir á hættu- og áhættumati og miðar að því að draga úr tjónnæmi samfélags og auka seiglu þess. Í tilfalli skipulagsgerðar þarf hættu- og áhættumat að taka tillit til margra þátta, s.s fyrirbyggjandi sviðsmynda um loftslagsbreytingar, líklegar fjölgunar íbúa og breytinga á búsetu og landnotkun. Þetta krefst samstarfs og samvinnu á milli fagstofnanna og sveitarfélaga svo áhættumat nýtist samfélaginu sem best.

Veðurstofa Íslands hefur lengi unnið að áhættumati vegna náttúruvá sem byggir á aðferðafræði UNDRR (sjá mynd 10.14). Í þessari vinnu er einnig byggt á reynslu af mati á snjóflóðahættu og öðrum ofanflóðum þar sem leitast er við að yfirfæra vinnubrögð og þekkingu fyrir þessa áhættuþætti yfir á aðra þætti, m.a. þá sem tengjast loftslagsbreytingum og afleiðingum þeirra. Markmið þessarar vinnu er að draga úr tjónnæmi sem minnkar líkur á manntjóni, eignatjóni og neikvæðum fjárhagslegum afleiðingum

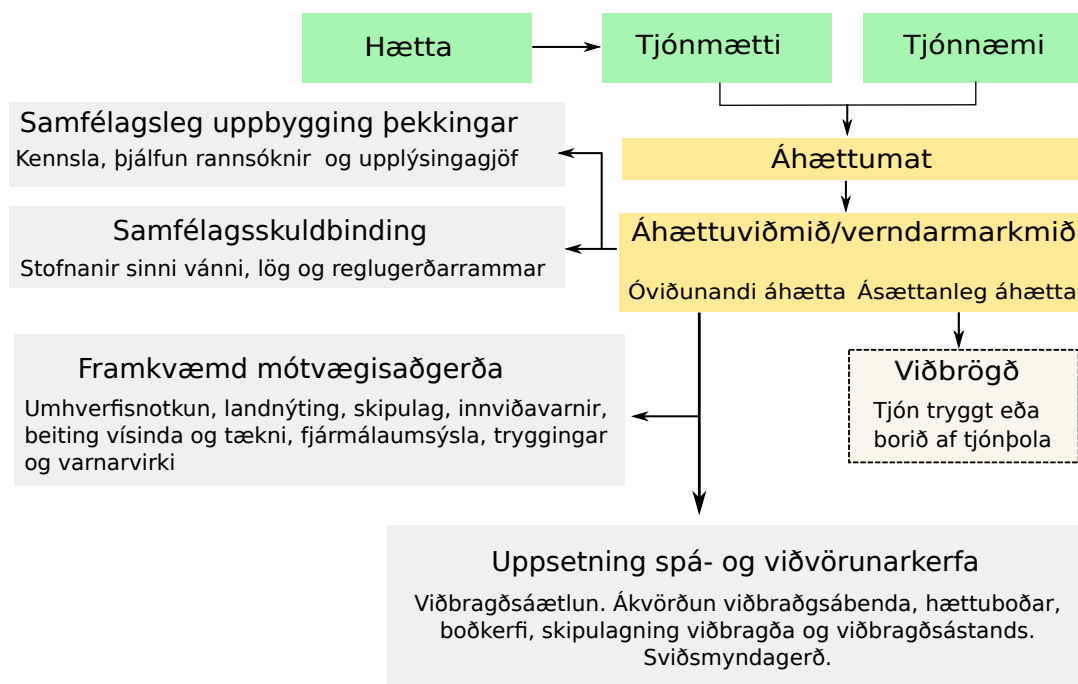


Mynd 10.13: Staðir á landinu þar sem áhættumati hvað ofanflóðahættu varðar er lokið.

fyrir samfélagið. Með viðeigandi mótvægisáðgerðum er jafnframt unnt að auka viðnámsþrótt samfélagsins til að takast á við náttúruhamfarir og afleiðingar þeirra og síðast en ekki síst að bæta hæfni þess til að takast á við og aðlagast loftslagsbreytingum og afleiðingum þeirra. Unnið er að hættumati fyrir ofanflóð, vatnsflóð, sjávarflóð og eldgos. Greiningu hefur verið lokið fyrir alla þéttbýlisstaði landsins sem búa við ofanflóðahættu (sjá mynd 10.13). Verið að endurskoða áhættumatið og bæta við greiningum fyrir Hveragerði og Stöðvarfjörð, gera úttekt á ofanflóðahættu í dreifbýli, gera áhættumat fyrir skíðasvæði og kortleggja óstöðugar hlíðar. Áhættumat vegna eldgosa og afleiddra áhrifa hófst árið 2012 og áhættumat vegna vatns- og sjávarflóða hófst árið 2015 (Umhverfis-, orku- og loftslagsráðuneytið, 2023).

10.5.3 Viðbrögð við beinni áhættu

Hér að framan var rætt um óveður og aftakaúrkomu, flóð í ám, sjávarflóð, ofanflóð, skógarelda og eldgos. Þessar vár hafa mismikið tjónmætti auk þess sem tjónnæmi samfélagsins og berstaða er ákaflega mismunandi. Margt er þó sammerkt í vinnulagi við áhættumat og áhættustýringu



Mynd 10.14: Ferli áhættustýringar byggt á ramma Alþjóðaveðurfræðistofnunarinnar og Sameinuðu þjóðanna.

Þessara þátta. Í hverju tilfalli þarf að greina hættuna, samfélagslega hagsmuni, ákvarða hvaða atriði skipta mestu og er mikilvægast að horfa til við áhættumat. Ákveða þarf viðmiðunarmörk fyrir ásættanlega eða viðunandi áhættu og móta aðgerðir í samræmi við það. Án viðmiðs um ásættanlega áhættu getur stýring áhættu orðið ómarkviss og stórir áhættuþættir jafnvel gleymst. Umræða um áhættuna þarf að eiga sér stað á víðari vettvangi en á vegum þeirra tækniáðila sem meta áhættu várinnar.

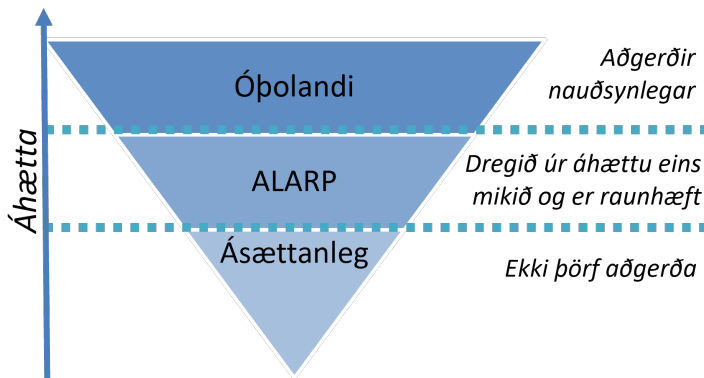
Í þessu samhengi er mikilvægt að hafa í huga að sum áhætta er þess eðlis að hún er líkleg til að valda efnahagslegu tjóni en ekki manntjóni. Í slíkum tilvikum geta tryggingar verið mikilvæg leið til að stýra áhættu. Á Íslandi veitir Náttúruhamfaratrygging Íslands tryggingavernd gegn náttúruhamförum og tryggingafélög tryggja áhættu sem ekki er tryggt hjá Náttúruhamfaratryggingu. Dæmi um það síðara er brunatrygging sem er lögboðin fyrir alla eigendur fasteigna. Aukin áhætta varðandi skógarelda getur haft áhrif á brunatryggingar og eðlilegur farvegur áhættustýringar því viðbragðsáætlanir (sjá 12.1.5 í V2018), fræðsla (sjá t.d. Stýrihópur, 2018) og tryggingar. Mikilvægt er að ábyrgð ólíkra stjórnsýslustiga, byggingaraðila og eigenda sé skýr svo ekki skapist hættu á því að mistök á lægra stjórnsýslustigi valdi skaðabótaábyrgð á herra stjórnsýslustigi. Í því samhengi er rétt er að ítreka þá ábendingu sem kom fram í V2018 að skýra þurfi ábyrgð til þess að koma í veg fyrir að kostnaður sem fellur til vegna tjóns á vanhönnuðum eða illa staðsettum mannvirkjum falli á Náttúruhamfaratryggingu Íslands.

Áður var minnst á mikilvægi skipulags sem hluta af áhættustýringu. Með því er bæði átt við skilgreiningu hönnunarstaðla fyrir mannvirki, þ.m.t. samgöngu-, samskipta- og orkukerfi og skipulag byggða. Fjallað er um byggðaskipulag og loftslagsbreytingar í grein 11.6 en mikilvægt er að tekið sé mið af náttúruvá við skipulagsgerð. Í greinum 10.4.4 og 10.4.5 er fjallað um einstök bæjarfélög, en almennt er ljóst að illa ígrundað skipulag getur aukið áhættu en gott skipulag getur dregið úr henni.

10.5.4 Almenn atriði varðandi áhættustýringu

Áhættuviðmið skilja á milli þeirrar áhættu sem er óásættanleg og þeirrar áhættu sem er ásættanleg. Ein þeirra aðferða sem notaðar eru til að stýra áhættu er ALARP (*e. As-Low-As-*

Reasonably-Practicable) aðferðin (Melchers, 2001), sjá mynd 10.15.



Mynd 10.15: Í ALARP aðferðafræðin er greint á milli óþolandi áhættu og ásættanlegrar áhættu. ALARP svæðið er milli þessara tveggja flokka og þar er leitast við að draga úr áhættu eins mikið og telja má raunhæft miðað við kostnað aðgerða og tjóns.

anflóð varðar skiptir skipulag með tilliti til náttúruvár máli, en hefur verið dregið úr áhættu með varnarmannvirkjum. Á milli þessara tveggja fyrrnefndu flokka fellur hið svokallaða ALARP svæði þar sem áhætta er hvorki talin ásættanleg né óþolandi. Í þeim tilfellum miðar áhættustýring að því að draga úr áhættu eins og raunhæft þykir. Vá í þessum flokki tekur yfirleitt til efnahagslegrar áhættu, það er eignatjóns en ekki manntjóns. Dæmi um slíkt gæti verið byggð á lágsvæði sem reynt væri að verja fyrir sjávarflóðum með áhættustýringu (Kool o.fl., 2020) þar sem varnir drægju úr áhættu að settu marki. Óraunhæf áhættustýring í þessum flokki væri til dæmis ef reynt væri að útrýma áhættu alfarið eða grípa til aðgerða sem væru dýrari en tjónið sem váin gæti valdið.

Í 4. kafla vinnuhóps II í 5. matskýrslu IPCC (Wong o.fl., 2014) var mælt með því að nota sveigjanlegar aðferðir við áhættustýringu. Skoðað væri hvernig áhættan gæti þróast og reynt að hafa í huga ólíkar leiðir til þess að bregast við henni. Þessi aðferðafræði á jafnt við um flókna áhættu og náttúruvá. Í skýrslunni kemur fram að sveigjanlegar og afturkræfar aðgerðir séu betri en ósveigjanlegar og óafturkræfar. Almenn sé best að halda sem flestum möguleikum opnum. Mikilvægt sé að hafa fyrirfram skilgreind mörk þegar skipt sé um braut og önnur aðferð tekin upp við að lágmarka áhættu. Tekið er fram að ekki sé átt við tímamörk hvernig aðferðar, heldur eigi mörkin við tilteknar afleiðingar sem knýi ákvarðanaferlið. Í dæminu hér að ofan væri sveigjanleg áhættustýring fólgin í því að hafa nokkrar ólíkar leiðir flóðavarna og fyrirfram ákveðin mörk um það hvernær skipta skyldi á milli þeirra með hækkandi sjávarstöðu. Þegar ekki væri lengur raunhæft að draga úr hættu á sjávarflóðum þyrfti að hefja brottfluttning (Kool o.fl., 2020).

Mynd 10.14 sýnir samband hættu, tjónmættis, tjónnæmis, áhættumats, áhættuviðmiða og viðbragða til að draga úr áhættu. Á myndinni sjást einnig atriði sem oft fá ekki næga umfjöllun, annarsvegar samfélagsskuldbinding um að stýra áhættunni og hinsvegar uppbygging þekkingar til þess að takast á við hana. Í nýlegri úttekt á náttúruvá (Umhverfis-, orku- og loftslagsráðuneytið, 2023) er bent á mikilvægi þess að viðhalda og auka þekkingu á náttúruvá og viðbrögðum við henni. Það á einnig við um flókna og kerfislæga áhættu og áhættu þvert á landamæri. Aðferðir til áhættustýringar eiga það sammerkt að margir aðilar þurfa að koma að mati á áhættu og leiðum til að stýra henni. Flestar, ef ekki allar tegundir áhættu, krefjast samfélagsskuldbindingar

ALARP aðferðafræðin greinir áhættu í þrjú flokka, byggt á fyrirliggjandi áhættuviðmiðum. Undir minnst krefjandi flokkinn fellur ásættanleg áhætta þar sem ekki þarf viðamiklar aðgerðir til þess að draga úr áhættu. Dæmi um atburði sem falla í þennan flokk eru ýmisskonar amaaturburðir vegna veðurs, þar sem fyrirliggjandi aðferðir, svo sem aðvaranir eða lokanir, þykja nægilega áhrifaríkar. Mest krefjandi flokkurinn er sá sem felur í sér óþolandi áhættu, svo sem manntjón. Dæmi um atburði sem falla í þann flokk er ofanflóðahætta í byggð. Þar er nauðsynlegt að grípa til einarðra aðgerða til þess að draga úr áhættu og færa hana niður að ásættanlegum mörkum. Það veltur á tegund vár hvernig best sé draga úr áhættu en hvað of-

um að áhættunni verði stýrt. Til þess að slíkt raungerist þarf að byggja upp menntun og fræðslu til að tryggja skilning á mikilvæginu.

Heimildir

- Abel, Guy J., Michael Brotrager, Jesus Crespo Cuaresma og Raya Muttarak (2019). „Climate, conflict and forced migration“. Í: *Global Environmental Change* 54, bls. 239–249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.12.003>.
- Anisimov, A. og A.K. Magnan (2023). *The Global Transboundary Climate Risk Report*. The Institute for Sustainable Development, International Relations og Adaptation Without Borders, bls. 114. URL: <https://adaptationwithoutborders.org/>.
- AWB (2023). *Adaptation Without Borders*. URL: adaptationwithoutborders.org.
- Bednar-Friedl, B., R. Biesbroek, D.N. Schmidt, P. Alexander, K.Y. Børsheim, J. Carnicer, E. Georgopoulou, M. Haasnoot, G. Le Cozannet, P. Lionello, O. Lipka, C. Möllmann, V. Muccione, T. Mustonen, D. Piepenburg og L. Whitmarsh (2022). „Europe“. Í: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Gefið út af H. O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem og B. Rama. Cambridge, UK og New York, USA: Cambridge University Press, bls. 1817–1927. ISBN: 9781009325844. DOI: 10.1017/9781009325844.015.1817.
- Ben-Yehoshua, Dorit, Þorsteinn Sæmundsson, Jón Kristinn Helgason, Joaquim M.C. Belart, Jón Víðir Sigurðsson og Sigurður Erlingsson (2022). „Paraglacial exposure and collapse of glacial sediment: the 2013 landslide onto Svínafellsjökull glacier, Southeast Iceland“. Í: *Earth Surface Processes and Landforms*, bls. 1–16. DOI: 10.1002/esp.5398.
- Cao, Yunmeng, Sigurjón Jónsson og Sigrún Hreinsdóttir (2023). „Iceland Kinematics From InSAR“. Í: *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 128.3, e2022JB025546.
- Cedergren, E., C. Tapia, A. Lundgren og Sánchez Gassen (2022). *Just Green Transition – Key concepts and implications*. Discussion Paper 2022:2. Nordregio.
- Chatham House (2021). *Climate Change Risk Assessment 2021*. URL: <https://www.chathamhouse.org/2021/09/climate-change-risk-assessment-2021>.
- Clarke, Jack, Jukka Heinonen og Juudit Ottelin (2017). „Emissions in a decarbonised economy? Global lessons from a carbon footprint analysis of Iceland“. Í: *Journal of Cleaner Production* 166, bls. 1175–1186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.108>.
- Coumou, Dim, Jascha Lehmann og Johanna Beckmann (2015). „The weakening summer circulation in the Northern Hemisphere mid-latitudes“. Í: *Science* 348.6232, bls. 324–327. DOI: 10.1126/science.1261768.
- Dafermos, Yannis (2022). „Climate change, central banking and financial supervision: beyond the risk exposure approach“. Í: *The Future of Central Banking*. Edward Elgar Publishing, bls. 175–194.
- Dittrich, Julian, Daniel Hölbling, Dirk Tiede og Þorsteinn Sæmundsson (2022). „Inferring 2D Local Surface-Deformation Velocities Based on PSI Analysis of Sentinel-1 Data: A Case Study of Öraefajökull, Iceland“. Í: *Remote Sensing* 14.13, bls. 3166. DOI: 10.3390/rs1413316.
- Douville, H, K Raghavan, J Renwick, R P Allan, P A Arias, M Barlow, R Cerezo-Mota, A Cherchi, T Y Gan, J Gergis, D Jiang, A Khan, W Pokam Mba, D Rosenfeld, J Tierney og O Zolina (2021). „Water Cycle Changes“. Í: gefið út af 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. Cambridge University Press, bls. 1055–1210. DOI: 10.1017/9781009157896.010.
- Einarsson, Bergur, Einar Hjörleifsson, Tinna Þórarinsdóttir og Matthew J Roberts (2022). *Áhættumat vegna jökulhlaupa frá Sólheimajökli*.
- Elíasson, Jónas og Þorsteinn Sæmundsson (2021). „Physics and Modeling of Various Hazardous Landslides“. Í: *Geosciences* 11.3. DOI: 10.3390/geosciences11030108.

- Erla Sturludóttir, Guðni Þorvaldsson, Guðríður Helgadóttir, Ingólfur Guðnason, Jóhannes Sveinbjörnsson, Ólafur Ingi Sigurgeirsson og Þóroddur Sveinsson (2021). *Fæðuöryggi á Íslandi*. Gefið út af Erla Sturludóttir og Jóhannes Sveinbjörnsson. Rit LBHÍ nr 139. Landbúnaðarháskóli Íslands.
- Forsætisráðuneytið (2019). *Um aðdraganda og afleiðingar óveðurs 9.–11. desember 2019, viðbúnað og úrbætur*. URL: <https://www.althingi.is/altext/pdf/150/s/1487.pdf>.
- Grunfelder, J., G. Norlén, L. Randall og N. Sanchez Gassen, ritstj. (2020). *State of the Nordic Region 2020*. NORD 2020:001. Nordic Council of Ministers, bls. 28–40.
- Guðrún Elín Jóhannsdóttir (2020). *Methods for Coastal Flooding Risk Assessments - An Overview of Methods used in Scandinavia and the UK and a discussion of their suitability for Iceland*. Report VÍ 2020-005. Icelandic Met Office.
- Gulev, S K, P W Thorne, J Ahn, F J Dentener, C M Domingues, S Gerland, D Gong, D S Kaufman, H C Nnamchi, J Quaas, J A Rivera, S Sathyendranath, S L Smith, B Trewin, K von Schuckmann og R S Vose (2021). „Changing State of the Climate System“. Í: gefið út af 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. Cambridge University Press, bls. 287–422. DOI: 10.1017/9781009157896.004.
- Halldór Björnsson, Guðrún Elín Jóhannsdóttir, Angel Ruiz Angulo, Kevin Dubois og Elmi Snorri Árnason (2022). *Mat á endurkomutíma óveðursflóða reiknað með Delft3D-FM*. VI 2022-009. Veðurstofa Íslands.
- Halldór Björnsson, Guðrún Elín Jóhannsdóttir, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Berglind Pétursdóttir og Ragnar Þróstur Heiðarsson (2023). *Mat á sjávarstöðuhækkun og 100 ára flóðahæð*. Óbirt handrit. Veðurstofa Íslands.
- Harris, Katy, Frida Lager, Marta K. Jansen og Magnus Benzie (2022). „Rising to a New Challenge: A Protocol for Case-Study Research on Transboundary Climate Risk“. Í: *Weather, Climate, and Society* 14.3, bls. 755–768. DOI: <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-21-0022.1>.
- Heleniak, T. og N. Sanchés Gassen (2019). *The Nordic Population in 2040 – Analysis of past and future demographic trends*. Report 2019:6. Nordregio.
- Heleniak, Timothy og Nora Sánchez Gassen (2020). „The demise of the rural Nordic region? Analysis of regional population trends in the Nordic countries, 1990 to 2040“. Í: *Nordisk velfærðsforsking* 5.1, bls. 40–57. DOI: 10.18261/issn.2464-4161-2020-01-05.
- Hugtök og skilgreiningar* (án árs). *Almannavarnir*. URL: <https://www.almannavarnir.is/almannavarnir/hugtok/>.
- Huntjens, Patrick og Katharina Nachbar (2015). „Climate change as a threat multiplier for human disaster and conflict“. Í: *The Hague Institute for Global Justice*, bls. 1–24.
- Hvítbók (2021). *Hvítbók um aðlögun að loftslagsbreytingum - Drög að stefnu*. Starfshópur um stefnu stjórnvalda varðandi aðlögun að loftslagsbreytingum. Stjórnarráð Íslands: Umhverfis- og auðlindaráðuneytið.
- Íslands, Jarvísindastofnun Háskóla, Veðurstofa Íslands og Almannavarnadeild Ríkislögreglustjóra (2014). *Íslensk eldfjallavefsjá*. URL: <https://islenskeldfjoll.is/>.
- Jungsberg, L. o.fl. (2019). *Atlas of population, society and economy in the Arctic*. Working Paper 2019:3. Nordregio.
- Júlíus Sólnes, Freysteinn Sigmundsson og Bjarni Bessason, ritstj. (2013). *Náttúruvá á Íslandi: eldgos og jarðskjálftar*. Viðlagatrygging Íslands.
- Kamasa, Julian (2021). „Microchips: Small and Demanded“. Í: *CSS Analyses in Security Policy* 295.
- Karlsdóttir, A. (2022). *A Just Green Transition for Rural Areas in the Nordic Region: key concepts and implications*. Discussion Paper 2022:1. Nordregio.

- Karlsdóttir, A., T. Heleniak og M. Kull (2020). „Chapter 2. Births, Children and Young People“. Í: *State of the Nordic Region 2020*. Gefið út af J. Grunfelder, G. Norlén, L. Randall og N. Sanchez Gassen. NORD 2020:001. Nordic Council of Ministers, bls. 28–40.
- Karlsdóttir, A., L. Rispling, G. Norén og L. Randall, ritstj. (2018). *State of the Nordic Region 2018 – Immigration and Integration Edition*. Copenhagen: Nordic Council of Ministers.
- Kool, Rick, Judy Lawrence, Martin Drews og Robert Bell (2020). „Preparing for sea-level rise through adaptive managed retreat of a New Zealand stormwater and wastewater network“. Í: *Infrastructures* 5.11, bls. 92.
- Kornhuber, Kai, Dim Coumou, Elisabeth Vogel, Corey Lesk, Jonathan F. Donges, Jascha Lehmann og Radley M. Horton (2020). „Amplified Rossby waves enhance risk of concurrent heatwaves in major breadbasket regions“. Í: *Nature Climate Change* 10, bls. 48–53. DOI: 10.1038/s41558-019-0637-z.
- Kunimitsu, Taro, Marina Baldissera Pacchetti, Alessio Ciullo, Jana Sillmann, Theodore G Shepherd, Mehmet Ümit Taner og Bart van den Hurk (2023). „Representing storylines with causal networks to support decision making: Framework and example“. Í: *Climate Risk Management* 40, bls. 100496.
- Lacroix, Pascal, Joaquin MC Belart, Etienne Berthier, Þorsteinn Sæmundsson og Jónsdóttir Kristín (2022). „Mechanisms of landslide destabilization induced by glacier-retreat on Tungnakvíslarjökull area, Iceland“. Í: *Geophysical Research Letters* 49.14, e2022GL098302.
- Landmælingar Íslands (2020). *IslandDEM Útgáfa 1.0*. Lýsigagnagátt LMI.
- Lawrence, J., B. Mackey, F. Chiew, M.J. Costello, K. Hennessy, N. Lansbury, U.B. Nidumolu, G. Pecl, L. Rickards, N. Tapper, A. Woodward og A. Wreford (2022). „Australasia“. Í: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Gefið út af H. O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem og B. Rama. Cambridge, UK og New York, USA: Cambridge University Press, bls. 1581–1688. ISBN: 9781009325844. DOI: 10.1017/9781009325844.013.1581.
- Lee, J.-Y., J Marotzke, G Bala, L Cao, S Corti, J P Dunne, F Engelbrecht, E Fischer, J C Fyfe, C Jones, A Maycock, J Mutemi, O Ndiaye, S Panickal og T Zhou (2021). „Future Global Climate: Scenario-Based Projections and Near-Term Information“. Í: gefið út af 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. Cambridge University Press, bls. 553–672. DOI: 10.1017/9781009157896.006.
- Lenton, Timothy M, Johan Rockström, Owen Gaffney, Stefan Rahmstorf, Katherine Richardson, Will Steffen og Hans Joachim Schellnhuber (2019). „Climate tipping points—too risky to bet against“. Í: *Nature* 575.7784, bls. 592–595.
- Magnús Tumi Guðmundsson, Emmanuel Pagneux, Matthew J. Roberts, Ásdís Helgadóttir, Sigrún Karlsdóttir, Eyjólfur Magnússon, Þórdís Högnadóttir og Ágúst Gunnar Gylfason (2016). *Jökulhlaup í Öræfum og Markarfljóti vegna eldgosa undir jökli. Forgreiðing áhættumats*. Jarðvísindastofnun Háskólans, Veðurstofa Íslands, Ríkislögreglustjóri. URL: https://www.vedur.is/gogn/vefgogn/jokulhlaup/haettumat/oraefajokull_markarfljotsaurar/samantekt_is/jokulhlaup_haettumat_138MB.pdf.
- Magnús Örn Sigurðsson (2020). *Að búa sig undir breyttan heim – Aðlögun vegna loftslagsvárs í ljósi stefnumótunar og stjórnhátta*. Gefið út af Anna Sigurveig Ragnarsóttir, Brynhildur Davíðsdóttir, Halldór Þorgeirsson og Hrönn Hrafnadóttir. Loftslagsráð. ISBN: 978 9935 24 679 0.
- Melchers, Robert E (2001). „On the ALARP approach to risk management“. Í: *Reliability Engineering & System Safety* 71.2, bls. 201–208.

- Menk, Linda, Stefano Terzi, Marc Zebisch, Erich Rome, Daniel Lückerath, Katharina Milde og Stefan Kienberger (2022). „Climate change impact chains: a review of applications, challenges, and opportunities for climate risk and vulnerability assessments“. Í: *Weather, Climate, and Society* 14.2, bls. 619–636.
- Morino, Costanza (2018). *The Hidden Hazard of Melting Ground Ice in Northern Iceland*. Open University (United Kingdom).
- Náttúrufræðistofnun Íslands (2023). *Vöktun og rannsóknir - Gróðureldar*. URL: <https://www.ni.is/is/rannsoknir/voktun-og-rannsoknir/grodureldar> (skoðað 01.06.2023).
- NKL (2022). *Nordic Perspectives on Transboundary Climate Risk*. Publication 2022:531. Nordic Working Group for Climate and Air, Nordic Council of Ministers.
- Nunataryuk (2022). URL: <https://nunataryuk.org/>.
- Nunataryuk (2017). *Nunataryuk - permafrost thaw and changing arctic coast: science for socio-economic adaptation*. URL: <https://archive.nordregio.se/en/Nordregio-Research/Nunataryuk/index.html>.
- Oppenheimer, Michael, Maximiliano Campos, Rachel Warren, Joern Birkmann, George Luber, Brian O'Neill, Kiyoshi Takahashi, Mike Brklacich, Sergey Semenov, Rachel Licker o.fl. (2015). „Emergent risks and key vulnerabilities“. Í: *Climate change 2014 impacts, adaptation and vulnerability: part a: global and sectoral aspects*. Cambridge University Press, bls. 1039–1100.
- Ormstrup Vestergård, Louise, Mari Wøien Meijer, Mads Svennerud og Lars Johan Rustad (2022). *Selvforsyning af fødevarer i fem nordiske øsamfund: Bornholm, Færøerne, Grønland, Island og Åland*. TemaNord 2022:528. Copenhagen: Nordic Ministerråd, bls. 204.
- Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, H. Adams, I. Adelekan, C. Adler, R. Adrian, P. Aldunce, E. Ali, R. Ara Begum, B. Bednar- Friedl, R. Bezner Kerr, R. Biesbroek, J. Birkmann, K. Bowen, M.A. Caretta, J. Carnicer, E. Castellanos, T.S. Cheong, W. Chow, G. Cissé G. Cissé og Z. Zaiton Ibrahim (2022a). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Technical Summary. Cambridge, UK og New York, USA: Cambridge University Press, bls. 37–118. ISBN: 9781009325844.
- (2022b). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Technical Summary. Cambridge, UK og New York, USA: Cambridge University Press, bls. 37–118.
- Rannsóknarnefnd Alþingis (2010). *Aðdragandi og orsakir falls íslensku bankanna 2008 og tengdir atburðir*.
- Raymond, Colin, Radley M Horton, Jakob Zscheischler, Olivia Martius, Amir AghaKouchak, Jennifer Balch, Steven G Bowen, Suzana J Camargo, Jeremy Hess, Kai Kornhuber o.fl. (2020). „Understanding and managing connected extreme events“. Í: *Nature climate change* 10.7, bls. 611–621.
- Roberts, Karlene H og Robert G Bea (2001). „When systems fail“. Í: *Organizational dynamics* 29.3, bls. 179–179.
- Schwarcz, Steven L (2008). „Systemic risk“. Í: *Georgetown Law Journal* 9, bls. 193.
- 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 og B. Zhou (2021). „Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate“. Í: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Gefið út af 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. Cambridge, United Kingdom og New York, NY, USA: Cambridge University Press, bls. 1513–1766. DOI: 10.1017/9781009157896.013.
- Shepherd, T. G. og C. H. Truong (2023). „Storylining climates“. Í: *Storying Multipolar Climes of the Himalaya, Andes and Arctic*. Gefið út af D. Smyer Yü og J. J. P. Wouters. London: Routledge, bls. 157–183. ISBN: 9781032388267. DOI: 10.4324/9781003347026-12.

- Sillmann, Jana, Ingrid Christensen, Stefan Hochrainer-Stigler, J Huang-Lachmann, Sirkku Juhola, Kai Kornhuber, M Mahecha, Reinhard Mechler, Markus Reichstein, Alex C Ruane, Pia-Johanna Schweizer og Scott Williams (2022). *ISC-UNDRR-RISK KAN Briefing note on systemic risk*.
- Skipulagsstofnun (2016). *Landsskipulagsstefna 2015–2026 ásamt greinargerð*. Skipulagsstofnun. URL: https://www.landsskipulag.is/media/pdf-skjol/Landsskipulagsstefna_2015-2026_asamt_greinargerd.pdf.
- Skýrsla starfshóps um neyðarbirgðir* (2022). Forsætisráðuneytið.
- Stjernberg, M. og O. Penje (2019). *Population change dynamics in Nordic municipalities – grid data as a tool for studying residential change*. Report. Nordregio.
- Stjórnarráðið (2023). *Uppbygging Innviðir*. URL: <http://www.stjornarradid.is/innvidir/>.
- Stýrihópur (2018). *Gróðureldar: Varnir og viðbrögð: Greinargerð stýrihóps*. Tæknileg skýrsla. Stýrihópur um forvarnaaðgerðir gegn gróðureldum á Íslandi. URL: <http://grodureldar.is>.
- Stýrihópur um forvarnaaðgerðir gegn gróðureldum á Íslandi (2020). *Gróðureldar - Varnir og viðbrögð, Greinargerð stýrihóps vegna vinnu 2018-2019*. Tæknileg skýrsla. Útgefið af stýrihópi um forvarnaaðgerðir gegn gróðureldum á Íslandi. URL: <http://grodureldar.is>.
- Sæmundsson, Þorsteinn og Jón Kristinn Helgason (2022). „Climate change and slope stability in Iceland“. Í: *EGU General Assembly 2022*. EGU22-11330. Vienna, Austria. URL: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-11330>.
- Sæmundsson, Þorsteinn, Jón Kristinn Helgason, Daniel Ben-Yehoshua, Bergur H Bergsson, Benedikt Ófeigsson, Eyjólfur Magnússon, Ásta Rut Hjartardóttir, Vincent Drouin, Joaquin Munoz Cobo Belart, Harpa Grímsdóttir, Gro Birkefeldt Møller Pedersen, Finnur Pálsson, Snævarr Guðmundsson og Halldór Geirsson (2019). „Risk of major rock slope failure at the Svínafellsheiði mountain, SE Iceland.“ Í: *Geophysical Research Abstracts*. Bd. 21.
- Tinna Þórarinsdóttir, Matthew J. Roberts og Bergur Einarsson (2022). *Tillögur að áhættuviðmiðum fyrir vatnsflóð*. VI 2022-005. URL: https://www.vedur.is/media/vedurstofan-utgafa-2022/VI_2022_005_ahaettuvidmid.pdf.
- Tómas Jóhannesson og Þorsteinn Arnalds (2001a). „Accidents and economic damage due to snow avalanches and landslides in Iceland“. Í: *Jökull* 50, bls. 81–94.
- (2001b). „Slys og tjón af völdum snjóflóða og skriðufalla“. Í: *Sveitarstjórnarmál* 61.6, bls. 474–482. URL: <http://vedur.is/gogn/snjoflod/haettumat/sveitarstjornarmal-2001.pdf>.
- Umhverfis-, orku- og loftslagsráðuneytið (2023). *Náttúruvá, stöðumat og áskoranir varðandi mat og endurmótun á tillögum hættumats og vöktunar vegna náttúruvár*. Tæknileg skýrsla. Stjórnarráð Íslands.
- UNDRR (2015). *What is the Sendai Framework?* URL: <https://www.undrr.org/implementing-sendai-framework/what-sendai-framework>.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2023). *United Nations Office for Disaster Risk Reduction*. URL: <http://www.undrr.org>.
- VB.is (2011). *Kerfislæg aðhætta fólst í gjaldþroti sjóvar*. URL: <https://www.vb.is/frettir/kerfislæg-ahaetta-folst-i-gjaldthroti-sjovar>.
- Wong, P.P., I.J. Losada, J.-P. Gattuso, J. Hinkel, A. Khattabi, K.L. McInnes, Y. Saito og A. Sallenger (2014). „Coastal systems and low-lying areas“. Í: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Gefið út af C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea og L.L. White. Cambridge, United Kingdom og New York, NY, USA: Cambridge University Press, bls. 361–409.