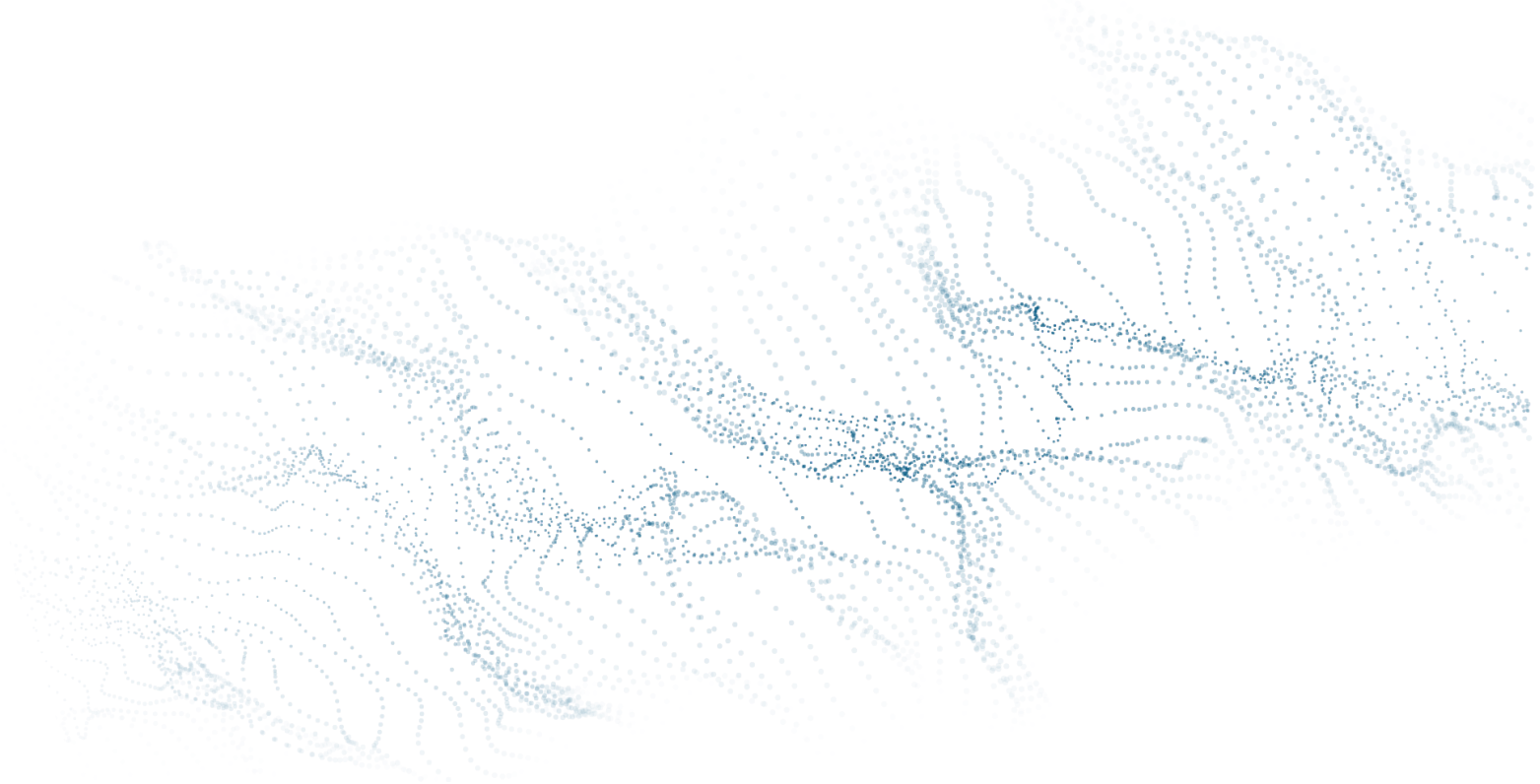
Veðurstofa Íslands

Tillögur að áhættuviðmiðum fyrir vatnsflóð

Tinna Þórarinsdóttir
Matthew J. Roberts
Bergur Einarsson



Skýrsla

VÍ 2022-005

Veðurstofa Íslands

Tillögur að áhættuviðmiðum fyrir vatnsflóð

Tinna Þórarinsdóttir
Matthew J. Roberts
Bergur Einarsson

Skýrsla

VÍ 2022-005

Veðurstofa Íslands
Bústaðarvegur 7–9
108 Reykjavík

+354 522 6000
vedur@vedur.is

Veðurstofa Íslands

LYKILSÍÐA

<table>
<tr><td>Skýrsla nr.
2022-005</td><td>Dags.
Nóvember 2022</td><td>ISSN
1670-8261</td><td>Dreifing: Opin ☒ Lokuð ☐
Skilmálar:</td></tr>
<tr><td colspan="3">Heiti skýrslu:
Tillögur að áhættuviðmiðum fyrir vatnsflóð</td><td>Upplag: Rafræn útgáfa
Fjöldi síðna: 69
Framkvæmdastjóri sviðs:
Jórunn Harðardóttir</td></tr>
<tr><td colspan="3">Höfundar:
Tinna Þórarinsdóttir, Matthew J. Roberts og Bergur Einarsson</td><td>Verkefnisstjóri:
Matthew J. Roberts
Verknúmer:
4711-0-0004</td></tr>
<tr><td colspan="3">Gerð skýrslu/verkstig:</td><td>Málsnúmer:
2022-0133</td></tr>
<tr><td colspan="4">Unnið fyrir:
Ofanflóðasjóð</td></tr>
<tr><td colspan="4">Samvinnuaðilar:</td></tr>
<tr><td colspan="4">Útdráttur:
Vatnsflóð eru hluti af hinni vatnafræðilegu hringrás og gegna mikilvægu hlutverki við að viðhalda náttúrulegri virkni ár- og flóðasvæða. Vatnsflóð geta þó einnig valdið verulegu tjóni, jafnvel manntjóni. Niðurstöður rannsókna sýna fjölgun fólks sem kann að verða fyrir áhrifum flóða á næstu áratugum. Loftslagsbreytingum munu jafnframt fylgja auknar áskoranir vegna flóða. Markmið þessarar skýrslu er að setja fram ramma um mat á hættu og áhættu vegna vatnsflóða á Íslandi, í samhengi við áhættuviðmið og ásættanlega áhættu. Litið er til flóðatilskipunar Evrópusambandsins sem og til mismunandi nálgana við áhættumat vegna flóða. Skipulögð áhættustýring, með formlegu áhættumati, viðbragðsáætlunum og aðgerðum til þess að draga úr tjóni, er vænlegasta leiðin til þess að mæta hættu vegna flóða og breytingum á þeirri hættu. Þetta heildarferli krefst samspils ýmissa þátta sem þyrftu að vera í betri farvegi hérlendis. Í því ljósi þarf fyrst og síðast að skapa umgjörð sem almenn sátt ríkir um, þ.e.a.s. um aðferðafræði, hlutverk aðila og viðmið. Niðurstöður skýrslunnar eru settar fram sem (i) dæmi um áhættumat vegna flóða sem nýst gæti hérlendis og (ii) tillögur að bættri áhættustjórnun. Verkefnið tilheyrir áætlun um mat á hættu og áhættu vegna vatnsflóða á Íslandi, sem er styrkt af Ofanflóðasjóði.</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">Lykilorð:
Vatnsflóð, hættumat, flóðahættumat, áhættumat, áhættuviðmið, áhættustjórnun, vatnafar, tjónmætti, tjónnæmi</td><td colspan="2">Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Undirskrift verkefnisstjóra:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Yfirfarið af:
SG, TóJ, TJ, SK, HG</td></tr>
</table>

Efnisyfirlit

Myndaskrá 5
Töfluskrá 5
1 Inngangur 6
1.1 Uppbygging skýrslunnar 8
1.2 Hugtök í hættu- og áhættumati 8
2 Bakgrunnur og forsendur 10
2.1 Forsagan og rammi hættumats 10
2.2 Verkefnið Vatnavá 11
2.3 Gerð flóða 11
2.4 Tjón vegna vatnsflóða 12
2.5 Loftslagsbreytingar 15
3 Lykilþættir við áhættumat vegna flóða 18
3.1 Áhættustjórnun 18
3.2 Mat á tjónmætti 18
3.3 Mat á tjónnæmi 21
3.4 Tjónnæmi fólks 23
4 Aðferðafræði og viðmið í öðrum löndum 24
4.1 Flóðatilskipun Evrópusambandsins 25
4.2 Kortlagning flóðahættu 26
4.3 Kortlagning áhættu vegna flóða 27
4.4 Hagnýting hættu- og áhættumats flóða 32
4.4.1 Svæðisbundin nálgun 32
4.4.2 Nálgun byggð á vaxtarhraða flóða 36
4.5 Samantekt 38
5 Viðbúnaður vegna flóða á Íslandi 39
5.1 Hlutverk og ábyrgð 39
5.2 Fjármál 42
5.3 Skipulagsmál 43
6 Tillögur að áhættuviðmiðum fyrir vatnsflóð 45
6.1 Dæmi um áhættumat vegna flóða 46
6.2 Víðtækari þættir og umbætur í umhverfi flóðastjórnunar 50
6.3 Áhersluatriði 51
7 Lokaorð 52
Heimildaskrá 53
Viðauki I. Gögn um vatnafar 60
Viðauki II. Endurkomutími flóða 63
Viðauki III. Birting upplýsinga á áhættumatskortum 65
Viðauki IV. DEFRA áhættureikningar 68

Myndaskrá

Mynd 1. Útskýring á ALARP aðferðafræðinni 7
Mynd 2. Staðsetning flóða sem valdið hafa tjóni 14
Mynd 3. Núvirtar tjónabætur frá Náttúruhamfaratryggingu Íslands vegna flóða 14
Mynd 4. Samband úrkomubreytinga og hitabreytinga 17
Mynd 5. Heildaráhættumat skv. áhættumatsramma 19
Mynd 6. Dæmi um niðurstöður úr flóðahættumati 21
Mynd 7. Dæmi um einfalt áhættufylki 22
Mynd 8. Ferli innan Flóðatilskipunar 26
Mynd 9. Dæmi frá Finnlandi um kortlagningu áhættu vegna flóða 28
Mynd 10. Dæmi frá Svíþjóð um kortlagningu áhættu vegna flóða 29
Mynd 11. Dæmi frá Englandi um kortlagningu áhættu vegna flóða 30
Mynd 12. Dæmi frá FEMA um kortlagningu flóðaáhættu 30
Mynd 13. Kortlagning efnahagslegrar áhættu vegna flóða í Hollandi 31
Mynd 14. Kortlagning einstaklingsáhættu vegna flóða í Hollandi 32
Mynd 15. Dæmi um flóðasvæðin ársléttur og flóðjaðra 33
Mynd 16. Dæmi um kortlagningu flóðasvæða fyrir skipulagsáætlanir í Englandi 34
Mynd 17. Tvær gerðir flóða 36
Mynd 18. Yfirlit yfir almannavarnanefndir í öllum umdæmum landsins 41
Mynd 19. Umfjöllun skipulagsáætlana um flóða- og náttúruvá 44
Mynd 20. Dæmi um skiptingu svæða út frá endurkomutíma flóða 49
Mynd 21. Vatnshæðarmælar í rekstri Veðurstofu Íslands í júní 2022 60
Mynd 22. Úrkomustöðvar í rekstri Veðurstofu Íslands í júní 2022 61
Mynd 23. Endurbætt 1M5 kort sem byggir á sólarhringsúrkomu 62

Töfluskrá

Tafla 1. Hætta sem fólki stafar af flóði, samkvæmt flokkun tjónmættisgilda 20
Tafla 2. Kvarði yfir tjónmætti flóða 20
Tafla 3. Endurkomutími flóða sem notaður er við hættumat og kortlagningu flóða 26
Tafla 4. Skilgreining flóðasvæða á Englandi 34
Tafla 5. Lýsing á tjónnæmisflokkum sem notaðir eru í skipulagsáætlunum í Englandi 35
Tafla 6. Samband milli flóðasvæða í Englandi og leyfilegrar uppbyggingar út frá tjónnæmi 35
Tafla 7. Áhættuviðmið fyrir hægvaxandi og hraðvaxandi flóð 37
Tafla 8. Takmörkun uppbyggingar innan flóðasvæða 37
Tafla 9. Viðmiðunarmörk fyrir byggingar á flóðasvæðum 38
Tafla 10. Viðmiðunarmörk fyrir byggingar á skriðusvæðum 38
Tafla 11. Drög að skiptingu svæða út frá endurkomutíma flóða 47

1 Inngangur

Vatnsflóð eru hluti af hinni vatnafræðilegu hringrás og gegna mikilvægu hlutverki við að viðhalda náttúrulegri virkni ár- og flóðasvæða. Vatnsflóð geta þó einnig valdið verulegu tjóni, jafnvel manntjóni (European Environment Agency, 2020; Papagiannaki o.fl., 2022). Markmið þessarar skýrslu er að setja fram ramma um mat á hættu og áhættu vegna vatnsflóða á Íslandi, í samhengi við áhættuviðmið. Litið er til flóðatilskipunar Evrópusambandsins sem og til mismunandi nálgana við áhættumat vegna flóða (Flóðatilskipun 2007/60/EC). Verkefnið tilheyrir áætlun um mat á hættu og áhættu vegna vatnsflóða á Íslandi, sem er styrkt af Ofanflóðasjóði.

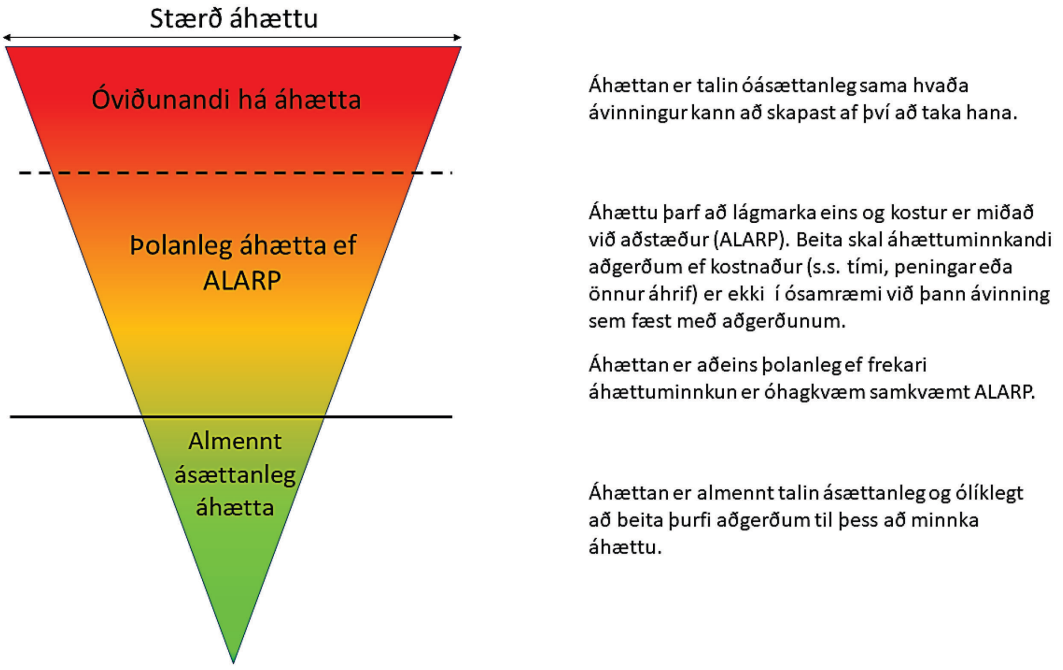
Ásættanleg áhætta vísar til tölfræðilegra útreikninga á (i) samfélagslegu virði, (ii) efnahagslegu tjóni og (iii) annars konar neikvæðra áhrifa, svo sem menningarlegs eða vistfræðilegs tjóns (Wade o.fl., 2005). Ásættanleg áhætta táknar áhættustig sem samþykkt er í samfélaginu á hverjum tíma og er stundum nefnd viðunandi áhætta. Við efri mörk getur áhættan talist óviðunandi en við lægri mörk nánast hverfandi. Milli þessara marka liggur breitt svæði þar sem nauðsynlegt er að taka ýmsar ákvarðanir um aðgerðir til þess að koma áhættunni á þolanlegt eða ásættanlegt stig. Stig áhættu getur verið (i) almennt ásættanlegt ef áhættan er undir skilgreindum mörkum; (ii) þolanlegt ef það er áfram undir mörkum sem nú þegar telst þolanlegt og kostnaður við að draga úr áhættunni er meiri sparnaðurinn sem næst með aðgerðunum. Þessi nálgun er í samræmi við ALARP (As Low As Reasonably Practicable) aðferðafræðina sem er mikið notuð og merkir að áhættu eigi að lágmarka eins og raunhæft er, sjá mynd 1 og hugtakaskrá í kafla 1.2. Hugtakið er upprunnið frá Bretlandi og spilar stóran þátt í heilbrigðis- og öryggismálum (HSE, 2001) sem og lögum um heilsu og öryggi á vinnustöðum (Health and Safety at Work etc. Act 1974). Aðferðafræðin miðar að því að halda jafnvægi milli áhættu og samfélagslegs ávinnings með því að draga eins mikið úr áhættuleif og kostur er, en ljóst er að algert öryggi er óraunhæft, einhvers konar áhættuleif mun alltaf vera til staðar.

Niðurstöður rannsókna sýna fjölgun fólks sem kann að verða fyrir áhrifum flóða á næstu áratugum (Jongman o.fl., 2012) og raunar sýna gervihnattamyndir nú þegar aukið hlutfall fólks sem er útsett fyrir flóðum (Tellman o.fl., 2021). Innan Evrópu hefur dauðsföllum sem tengjast flóðum fækkað á undanförnum áratugum, jafnvel þó tíðni og alvarleiki flóða hafi aukist (Paprotny o.fl., 2018). Þessi þróun tengist betri flóðaspám og viðvörunum síðustu þrjá áratugi. Hins vegar hefur kostnaður vegna vatnsflóða aukist en hérlendis voru núvirtar tryggingakröfur vegna veðurtengdra flóða tæpar 400 milljónir króna fyrir tímabilið 2012–2021 (Náttúruhamfaratrygging Íslands, 2022). Til samanburðar eru tjónabætur yfir meira en tvöfalt lengra tímabil frá 1988 til 2011 um 460 milljónir króna (sjá frekari umfjöllun í kafla 2.4). Þessa þróun er rétt að skoða nánar og hún ýtir undir þörf fyrir heildrænt hættu- og áhættumat og tengingu við skipulagsáætlanir svo hægt sé að lágmarka tjón af völdum flóða. Þá ber að nefna að loftslagsbreytingum munu fylgja auknar áskoranir vegna flóða (Halldór Björnsson o.fl., 2018). Í skýrslu sem gefin er út af milliríkjanefnd Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar (e. *International Panel on Climate Change*, IPCC) kemur m.a. fram að með hlýnun muni magn og ákefð rigningar aukast sem gera megi ráð fyrir að auki flóðahættu (IPCC, 2021).

Eftir því sem efnahagslegur kostnaður vegna vatnsflóða hefur hækkað, hafa mótvægisaðgerðir færst frá verkfræðilegu sjónarhorni s.s. varnargarða yfir í fjölbreyttari aðgerðir, byggðar á áhættustjórnun og áhættumati. Þessi breyting kallar á kortlagningu hættu og áhættu til þess að unnt sé að greina svæði sem eru berskjölduð gagnvart flóðum. Mat á flóðahættu og áhættu af völdum flóða byggir á því að beita flóðagreiningu til þess að segja til um stærð flóða með ákveðinn endurkomutíma, kortleggja þau flóð og greina svo líkur á því að fólk og eignir verði fyrir áhrifum og hugsanlega skaða af völdum flóðvatns.

Að leggja fram viðmið um ásættanlega áhættu flóða krefst ítarlegrar þekkingar á neikvæðum áhrifum flóða, getu svæðis til þess að standast flóð og líkum þess að flóð af ákveðinni stærð muni eiga sér stað. Erfitt getur reynst að ákvarða eitt viðmið, enda ljóst að áhætta, berskjöldun og þol gagnvart áhættu er mismunandi, svo sem milli landsvæða. Því er mikilvægt að viðmið sem þessi verði endurskoðuð reglulega í samræmi við efnahags- og samfélagsleg gildi hverju sinni.

Með þessari samantekt á upplýsingum um hættu- og áhættumat vegna flóða og leiðbeiningum um næstu skref við stjórnun vegna flóðavár, er lagður fram rammi sem nota má fyrir hættu- og áhættu-viðmið hérlendis. Skýrslan fjallar einkum um flóð í ám þar sem breyting á rennsli á sér stað yfir klukkustundir eða jafnvel nokkra daga vegna veðurfræðilegra aðstæðna. Hins vegar er lagt upp með að sami rammi geti einnig nýst við hættu- og áhættumat vegna annarra tegunda flóða. Þetta getur t.d. átt við hættu- og áhættumat vegna jökulhlaupa eða jafnvel skyndiflóða, þó svo að aðferðafræðin kunni að taka einhverjum breytingum fyrir þess háttar flóð. Þau flóð geta átt sér mun skemmri aðdraganda með meiri rishraða sem þýðir að minni tími er til viðbragðs og viðvarana. Jafnframt kann aðferðafræðin að nýtast með ákveðnum endurskilgreiningum þegar um er að ræða flóð vegna einstakra atburða s.s. við stíflubresti, flóðbylgjur o.s.frv. Ekki er fjallað sérstaklega um áhrif minni flóða sem eru tíð og geta valdið umtalsverðu tjóni til lengri tíma, oft nefnd amaflóð (Moftakhari o.fl., 2018). Þar sem fjallað er um flóð í skýrslunni er átt við flóð af völdum veðurs nema annað sé tekið fram.



Mynd 1. Útskýring á áhættustigi og ALARP aðferðafræðinni. Misjafnt getur verið hvað fólk lítur á sem ásættanlega áhættu en ALARP aðferðafræðin snýr frekar að því að ná áhættunni niður á þolanlegt stig fyrir samfélagið. Myndin er staðfærð frá vefsíðu heilbrigðis- og öryggismála í Bretlandi (HSE, á.á.).

1.1 Uppbygging skýrslunnar

Skýrslan er byggð upp á nokkrum lykilspurningum sem leitast er við að svara í hverjum kafla.

2. kafli: *Hver er bakgrunnur verkefnisins og hverjar eru orsakir og áhrif flóða?* Fjallað er um mismunandi gerðir flóða og tjón af völdum þeirra. Bakgrunnur verkefnisins er útskýrður og stiklað á stóru um fyrri verkefni sem unnin hafa verið um hættu- og áhættumat vegna flóða hérlendis.

3. kafli: *Hver eru lykilatriði við hættu- og áhættumat vegna flóða?* Í kaflanum er leitast við að útskýra áhættustjórnun og aðferðir við hættu- og áhættumat vegna flóða.

4. kafli: *Hvaða aðferðum beita aðrar þjóðir við hættu- og áhættumat vegna vatnsflóða?* Kaflinn fjallar um nokkur dæmi um aðferðafræði sem beitt er við hættu- og áhættumat vegna flóða innan landa sem Ísland ber sig gjarnan saman við.

5. kafli: *Hver er staða hættu- og áhættumats vegna flóða hérlendis?* Hér er fjallað um hlutverk ríkis, sveitarfélaga og stofnana í tengslum við flóð og skipulagsmál í þessu sambandi. Farið er yfir málefni sem gera þarf úrbætur á varðandi hlutverk og regluverk sem tengist hættu- og áhættumati flóða.

6. kafli: *Hverjar eru niðurstöður, tillögur og ráðleggingar um úrbætur og næstu skref?* Helstu niðurstöður eru dregnar saman og lögð fram dæmi um áhættumat vegna flóða sem nýst gæti hérlendis og gerðar tillögur að umbótum flóðamála út frá núverandi stöðu og framtíðarhorfum.

7. kafli: *Hvernig er hægt að setja niðurstöður skýrslunnar í stærra samhengi?* Lokaorð um innihald skýrslunnar.

Í viðaukum I–IV er farið nánar í bakgrunnsupplýsingar um vatna- og úrkomumælingar (I), mat á endurkomutíma flóða (II), framsetningu gagna á áhættumatskortum (III) og áhættureikninga (IV).

1.2 Hugtök í hættu- og áhættumati

Það er mjög mikilvægt í umræðu um hættu, áhættu og hættumat að hugtökin sem eru notuð hafi fasta og skýra merkingu þannig að ekki skapist misskilningur. Helstu hugtök sem eru notuð eru í þessari skýrslu má sjá hér að neðan en einnig má benda á íslenska þýðingu á ISO-73 staðlinum, sem gefinn var út af Staðlaráði árið 2016. Vinnuhópur á vegum almannavarna hefur unnið að orðasafni með hliðsjón af orðasafni Sameinuðu þjóðanna um áhættuminnkun vegna hamfara (UNISDR) og fleiri orðasöfnum (https://www.almannavarnir.is/almannavarnir/hugtok/). Auk þess hefur Trausti Jónsson (2002) fjallað um hættumatsramma Alþjóða veðurfræðistofnunarinnar (WMO, 1999, 2006; UNISDR, 2009), greint frá og íslenskað helstu hugtök sem þar eru notuð og tekið saman upplýsingar um hættumat og tengsl við áhættuviðmið (Trausti Jónsson, 2018). Stuðst er við orðasafn almannavarna og skilgreiningar Trausta Jónssonar í eftirfarandi hugtakaskýringum.

ALARP (e. *As Low As Reasonably Practicable*). ALARP aðferðafræðin hefur þá merkingu að áhættu eigi að lágmarka eins og kostur er miðað við aðstæður. Í stuttu máli gengur hún út á að lágmarka áhættuna án þess þó að kostnaður verði meiri en áætlaður ábati. Þannig má beita öllum tiltækum ráðum til þess að draga úr hættu að teknu tilliti til ýmissa félagslegra og hagrænna skilyrða.

Áhætta (e. *risk*). Tjón sem ákveðin ógn veldur á tilteknu svæði yfir viðmiðunartímabil. Sé áhætta sett fram á stærðfræðilegan hátt er hún margfeldi hættu (að teknu tilliti til tjónmættis) og tjónnæmis (að teknu tilliti til viðveru). Áhættan er samspil á ógn, vörnum og veikleikum.

Áhættumat (e. *risk assessment*). Ferli til þess að meta eðli og umfang áhættu með greiningu á tjónmætti og tjónnæmi sem kann að valda einstaklingi skaða eða dauða, tjóni á eignum,

atvinnu eða umhverfi sem hann er háður. Samanburður á niðurstöðum við áhættuviðmið til þess að ákvarða hvort áhættan og eða umfang hennar sé ásættanlegt eða þolanlegt.

Áhættuviðmið (e. *risk criteria*). Viðmið sem eru sett um ásættanlega áhættu og sem endurspegla gildi, stefnu og markmið. Það tjón sem samfélag (eða þjóðfélag) telur viðunandi miðað við félagslegar, efnahagslegar, stjórnmálalegar, menningarlegar, tæknilegar og umhverfislegar aðstæður. Áhættuviðmið eru notuð til ákvörðunar og skipulags aðgerða til þess að koma tjóni niður á viðunandi stig og geta tekið til m.a. bygginga- og landnýtingarreglna, varnarvirkja og varanlegrar eða tímabundinnar rýmingar eftir aðstæðum hverju sinni.

Ásættanleg áhætta (e. *acceptable risk*). Sú áhætta sem samfélag telur ásættanlega miðað við félags-, efnahags-, stjórnmála-, menningar-, tækni-, og umhverfislegar aðstæður á hverjum stað og tíma. Gjarnan sett sem viðmið í reglugerðir og staðla.

Endurkomutími (e. *return period*). Endurkomutími flóða gegnir veigamiklu hlutverki í áhættumati flóða þar sem að með honum eru settar fram líkur þess að flóð af ákveðinni stærð verði á tilteknu tímabili, jafnvel þó ekki sé hægt að spá fyrir um hvenær þau verða. Fyrir flóð með 100 ára endurkomutíma er átt við að 1% líkur eru á því að flóð yfir ákveðinni stærð verði á tilteknu ári en yfir 100 ára tímabil getur þó hent að flóðið verði aldrei, einu sinni eða jafnvel oftar. Endurkomutími er einn á móti árlegum líkum á því að tiltekinn atburður eigi sér stað.

Hætta (e. *hazard*). Ógnandi atburður. Fyrirbæri, efni, mannlegar gjörðir eða ástand sem getur valdið skaða, svo sem dauða, meiðslum, heilsutapi, eignaspjöllum, tapi á lífsviðurværi, skerðingu nauðsynlegrar þjónustu, félagslegum eða efnahagslegum óstöðugleika eða umhverfisspjöllum. Líkur á því að náttúruhamfarir eða atburður sem getur valdið tjóni eigi sér stað innan tiltekins tíma og á tilteknu svæði.

Hönnunarflóð (e. *design flood*). Hönnunarflóð er skilgreint sem stærsta viðmiðunarflóð sem gert er ráð fyrir að mannvirki eigi að þola á notkunartíma sínum. Hönnunarflóðið hefur ákveðna stærð og ákveðinn endurkomutíma og er þannig nátengt greiningu á endurkomutíma. Hönnunarforsendur geta verið mjög ólíkar milli mismunandi mannvirkja og jafnvel milli framkvæmdaaðila. Þannig kunna ræsi að vera hönnuð til þess að rúma flóð með 50 eða 100 ára endurkomutíma, fráveitukerfi með 10 ára endurkomutíma og virkjanir jafnvel fyrir flóð með 10.000 ára endurkomutíma.

Tjónmætti (e. *hazard potential*). Hugtakið er tengt hættu en vísar einnig til þess sem er í hættu. Byggist á stærð, afli og krafti náttúruváratburðar og hversu mikil líkindi eru á því að hann eigi sér stað, óháð því hvort byggð eða mannvirki séu á svæðinu. Tjónmætti getur verið háð tilvist varnarvirkja, t.d. varnargarða sem bægja flóðum frá byggð.

Tjónnæmi (e. *vulnerability*). Tjónhlutfall (mælt í prósentum, frá 0 til 100%) sem yrði ef náttúruhamfarir eða atburður sem getur valdið tjóni á sér stað. Tjónið getur verið manntjón, slys, eignatjón og eða samfélagslegs eðlis. Tjónnæmi segir til um viðkvæmni samfélagsins, innviða og kerfa gagnvart tjóni sem hlýst af náttúruhamförum. Tjónnæmi er nátengt viðveru. Tjónnæmi er jafnframt nátengt berskjöldun og í orðasafni almannavarna er enska orðið „*vulnerability*“ einnig þýtt sem berskjöldun.

Viðnámsþróttur/áfallaþol (e. *resilience*). 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 með fyrirbyggjandi aðgerðum sem og viðbrögðum. Viðnámsþróttur er einnig nefnt áfallaþol/þol/seigla, segir til um möguleika samfélags til þess að takast á við, jafna sig á og

komast yfir náttúruhamfarir með viðbúnaði t.d. spám um náttúruhamfarir, innviðum almannavarna, tryggingum og varnaraðgerðum t.d. varnargörðum.

Viðvera eða nánd (e. *exposure*). Stundum nefnt berstaða, berskjöldun eða að vera útsett/ur. Fólk, eignir, lífsviðurværi, innviðir sem verða útsett fyrir hættu/vá og geta orðið fyrir tjóni. Tjónnæmi er nátengt viðveru og viðvera getur verið felld inn í tjónnæmi ef við á.

Þolanleg áhætta *(*e. *tolerable risk).* Jafnan er þolanleg áhætta talin meiri en ásættanleg áhætta en þó undir óásættanlegum mörkum. Þolanlegt í þessu samhengi nær yfir vilja samfélagsins í heild til þess að lifa með áhættu svo hægt sé að tryggja ákveðinn ávinning, að því gefnu að áhættan sé þess virði að taka hana og að henni sé stýrt með viðeigandi hætti (HSE, 2001).

2 Bakgrunnur og forsendur

2.1 Forsagan og rammi hættumats

Mat á áhættu gegnir mikilvægu hlutverki í samfélagi nútímans. Náttúruvá spilar stóran þátt í íslensku samfélagi, ekki síst þar sem hér má gera ráð fyrir margskonar náttúruvá af ólíkum orsökum s.s. vatnsflóðum, sjávarflóðum, ofanflóðum, eldgosum og jarðskjálftum. Eftir snjóflóðin í Súðavík og á Flateyri árið 1995 var opinber stjórnsýsla ofanflóðavarna endurskipulögð. Ofanflóðanefnd var stofnuð og ákveðið var að endurmeta þyrfti hættu af völdum ofanflóða og hefja skipulega framkvæmdir við varanlegar varnir (Ofanflóðanefnd, 2010). Hlutverk Ofanflóðanefndar er, skv. lögum (nr. 49/1997) um varnir gegn snjóflóðum og skriðuföllum, m.a. að gera tillögur til umhverfis-, orku- og loftslagsráðherra um fjárstuðning úr Ofanflóðasjóði en skv. sömu lögum er meginhlutverk hans að greiða kostnað vegna varnarframkvæmda og annarra fyrirbyggjandi aðgerða sem tryggja eiga öryggi íbúa á snjóflóðahættusvæðum. Nú er hættumat vegna ofanflóða orðið vel þekkt og skilgreint ferli sem er lögfest í lögum nr. 49 frá 1997 með síðari breytingum.

Vinna við hættu- og áhættumat vegna vatnsflóða er hins vegar heldur skammt á veg komin hérlendis, enda engin lög eða reglugerðir í gildi um gerð slíks mats. Mikilvægt er að til séu viðmið og leiðbeiningar um gerð hættu- og áhættumats vegna vatnsflóða hérlendis. Ljóst er að þess háttar mat nýtist m.a. við hönnun og skipulag innviða, við gerð viðbragðsáætlana og ekki síst við skipulag sveitarfélaga. Á síðustu áratugum hafa orðið gríðarmiklar tækniframfarir, bæði á hugbúnaði og á gæðum landhæðargagna, sem hafa gert það að verkum að mögulegt er að herma vatnsflóð, jafnt útbreiðslu og straumhraða, fyrir stór og smá vatnasvið. Frá aldamótum hefur enn fremur orðið mikil vakning í málefnum vatnsflóða, ekki síst með tilkomu flóðatilskipunar Evrópusambandsins. Tilskipunin hefur ekki verið tekin upp sem slík hérlendis og hefur hún því ekki sett ramma um þau flóðaverkefni og líkanreikninga sem nauðsynlegt er að vinna. Segja má að líkanreikningar og kortlagning á útbreiðslu vatnsflóða hérlendis hafi oft verið atburðadrifnir, þ.e.a.s. unnir í kjölfar stórra flóða líkt og eftir jökulhlaupið á Skeiðarársandi 1996 (Árni Snorrason o.fl., 1997; Eskilsson o.fl., 2002), í kjölfar mikilla flóða í lok árs 2006 í Borgarfirði (María Theodórsdóttir, 2008), í Skagafirði (Emmanuel Pagneux o.fl., 2017) og á Skeiðum (Árni Snorrason o.fl., 2007), eftir hlaupið í Múlakvísl árið 2011 (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2014) og eftir óvenju stórt Skaftárhlaup árið 2015 (Emmanuel Pagneux o.fl., 2018). Þó hefur einnig verið unnið að rannsóknaverkefnum um stærð og útbreiðslu flóða án þess að tiltekið flóð sé nýyfirstaðið, þá einkum fyrir jökulhlaup. Dæmi um það er reiknilíkan fyrir útbreiðslu hlaupa úr Entujökli (Sigurður Lárus Hólm og Snorri Páll Kjaran, 2005), líkanreikningar á jökulhlaupum niður suðurhlíðar Eyjafjallajökuls (Kristín Martha Hákonardóttir o.fl., 2005), jökulhlaup samfara hugsanlegum eldgosum í Öræfajökli (Ásdís Helgadóttir o.fl., 2015), hættumat vegna lítilla og meðalstórra jökulhlaupa frá Sólheimajökli

(Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., 2015), hermun jökulhlaupa í Jökulsá á Fjöllum með GeoClaw (Sigríður Sif Gylfadóttir o.fl., 2017), hermun Kötluhlaups í Múlakvísl og mat á rennsli til Víkur (Helgi Gunnar Gunnarsson o.fl., 2018) og áhættumat vegna jökulhlaupa frá Sólheimajökli (Bergur Einarsson o.fl., 2022).

Á þessari upptalningu má sjá að unnið hefur verið að ýmsum verkefnum hérlendis varðandi kortlagningu og líkanreikninga flóða í ám á síðustu áratugum. Þó ber að nefna að séu jökulhlaup undanskilin og aðeins litið til flóða af völdum veðurs, þá kemur í ljós að einungis örfá verkefni falla undir þann flokk og raunar aðeins verkefnin sem unnin voru í kjölfar flóðanna árið 2006 úr upptalningunni hér að ofan. Vissulega hefur einnig verið unnið að flóðagreiningum og öðrum verkefnum sem snúa að tölfræðilegri greiningu á endurkomutíma flóða og um hönnunarflóð, en verkefni sem fjalla um kortlagningu á útbreiðslu eða líkanreikninga flóða í ám sem nýta má til hættu- og áhættumats hafa heyrt til undantekninga hérlendis, þar til á allra síðustu árum.

2.2 Verkefnið Vatnavá

Í lok árs 2014 var lögum nr. 49/1997, um varnir gegn snjóflóðum og skriðuföllum, breytt þannig að Ofanflóðasjóði var heimilað að fjármagna hættumat vegna vatnsflóða, eldgosa og sjávarflóða á Íslandi til viðbótar við áhættumat vegna ofanflóða. Í byrjun mars 2016 skipaði umhverfis- og auðlindaráðuneyti (UAR) nefnd til þess að gera tillögu til ráðuneytisins um hættumatsviðmið sem eiga að liggja til grundvallar vinnu við hættumat vegna vatnsflóða og sjávarflóða. Í kjölfarið hófst vinna á Veðurstofu Íslands við að taka saman upplýsingar sem nýst geta nefndinni við að setja fram tillögur um hættumatsviðmið, sem eiga að liggja til grundvallar vinnu við hættumat vegna vatnsflóða. Árið 2018 var lögð fram fimm ára verkáætlun, en með breytingum á lögum nr. 49/1997 í lok árs 2017 var fjármögnun til hættumats vegna vatnsflóða tryggð til loka árs 2022. Verkefnin sem fylgja þessari fjármögnun ganga undir heitinu Vatnavá og eru leidd af Veðurstofu Íslands. Á meðal verkefna sem falla undir Vatnavá er þessi skýrsla um áhættuviðmið en einnig önnur verkefni, s.s. samantekt um söguleg flóð (Emmanuel Pagneux o.fl., 2017), hættumat vegna vatnsflóða í Hvítá og Ölfusá (Emmanuel Pagneux o.fl., 2019), endurskoðun á endurkomutíma úrkomu (Massad o.fl., 2020), greinargerð um notkun á aðferðafræði DEFRA (Department for Environment, Food & Rural Affairs) við áhættureikninga vatnsflóða og jökulhlaupa (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2020) og hættumat vatnasviða (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2021). Verkefni sem snúa að hættu- og áhættumati jökulhlaupa falla undir systurverkefni Vatnavár sem nefnt er Gosvá. Þar á meðal er fyrrnefnd skýrsla um áhættumat vegna jökulhlaupa frá Sólheimajökli (Bergur Einarsson o.fl., 2022).

2.3 Gerð flóða

Algengt er að skipta flóðum af völdum úrkomu og leysingar upp í meginflokkana árflóð (e. *fluvial flooding*) og flóð á flatlendi (e. *pluvial flooding*). Árflóð verða þegar ár eða lækir sem renna að staðaldri eftir ákveðnum farvegi flæða skyndilega yfir bakka sína. Flóð á flatlendi verða hins vegar þegar úrkoma fellur á flatlendi í meira mæli en viðkomandi svæði getur tekið við svo pollar og vötn myndast, jafnvel langt frá árfarvegum. Önnur flóð af völdum úrkomu og leysingar eru skyndiflóð (e. *flash flooding*) og flóð í þéttbýli (e. *urban flooding*). Skyndiflóð verða þegar áköf úrkoma og eða leysing í brattlendi veldur flóði á skömmum tíma. Vatnasvið á stöðum þar sem skyndiflóð eru tíð eru yfirleitt lítil, mjög brött og skila úrkomu hratt fram. Orsök flóða í þéttbýli er skortur á frárennsli. Í þéttbýli er lítið um jarðveg í samanburði við dreifbýli en jarðvegurinn virkar sem geymsla fyrir úrkomu og leysingarvatn. Í þéttbýli þarf því að treysta á fráveitukerfi til þess að flytja það vatn í burtu sem ekki fer niður í jarðveginn. Ef fráveitukerfið nær ekki að anna aðrennsli, safnast vatnið upp og flæðir um götur og torg. Þannig eru flóð á flatlendi svipuð og flóð í þéttbýli,

í öðru tilfellinu skortir náttúrulegt frárennsli en í hinu annar manngerða fráveitan ekki að veita vatninu burt. Oft eiga fleiri en eitt hugtak við um ákveðið flóð og mörk á milli flóðagerða geta því verið óskýr.

Þess ber að geta að þessi flokkun flóða er ekki tæmandi fyrir öll vatnsflóð, heldur miðast við flóð af völdum úrkomu og leysingar. Ef skoðuð eru flóð af öðrum uppruna, ber helst að nefna jökulhlaup en þau eiga sér stað þegar vatn úr jökulstífluðum lónum eða lónum við jökulbotn brýtur sér leið undan jökli. Hlaupvatn í jökulhlaupum er oft upprunnið við bráðnun jökulíss vegna jarðhita og eldsumbrota. Þau eru langstærstu flóðin hér á landi, bæði hvað varðar vatnsmagn og hámarksrennsli. Nánari umfjöllun um eðli jökulhlaupa má finna í fræðigreinum (m.a. Helgi Björnsson, 1974; 1992; 2002; Nye, 1976; Tómas Jóhannesson, 2002; Bergur Einarsson o.fl., 2016). Einnig hefur verið sett fram flokkun á flóðum tengdum ís og snjó í farvegum vatnsfalla (Árni Snorrason o.fl., 2000). Aðrar gerðir flóða hérlendis eru t.d. þrepahlaup, mannvirkjaflóð[1] og viðburðaflóð (Sigurjón Rist, 1990). Þrepahlaup nefnast skyndileg flóð á vetrum sem verða þegar ísstíflur bresta hver af annarri og flóðalda getur myndast. Mannvirkjaflóð eru þau flóð sem tengd eru beinum inngripum mannsins, mannvirkjum og bilunum á þeim, s.s. vegna stíflubrota. Flóð af völdum stíflubrota geta farið saman með öðrum flóðum og valda almennt mikilli hættu því að þau geta verið mun stærri heldur en flóð af völdum veðurtengdra þátt og vaxa oft hratt (Costa, 1985). Viðburðaflóð eru svo flóð sem verða vegna óvæntra náttúruviðburða líkt og berghruns á jökul eða í vötn (Sigurjón Rist, 1990). Í skýrslunni er einnig litið til annars konar flokkunar flóða sem byggir á hve hraður vöxtur rennslisins er, þ.e. hversu lengi flóðið er að ná hámarki. Þannig má greina á milli hæg- og hraðvaxandi flóða. Hraðvaxandi flóð verða einkum í hlíðum og brattlendi, einkennast af miklum rishraða og hámarksflóðtoppi er náð á skömmum tíma. Hægvaxandi flóð eru hins vegar flóð á láglendi sem rísa yfir nokkurra klukkustunda tímabil eða jafnvel á mörgum dögum. Flest árflóð eru vaxa hægt en dæmi um hraðvaxandi flóð gætu verið skyndiflóð og jökulhlaup. Þessi grófa flokkun flóða getur nýst við hættu- og áhættumat vegna flóða þar sem viðbrögð við þeim sem og hætta og tjón vegna þeirra geta verið af ólíkum toga.

Í þessari samantekt um áhættuviðmið vegna vatnsflóða verður sem fyrr segir einkum fjallað um árflóð, þó svo að ýmis umfjöllun eigi einnig við um aðrar tegundir flóða. Þó er ljóst að í ákveðnum tilfellum þarfnast aðferðafræðin aðlögunar s.s. í tilfelli skyndiflóða. Margir ólíkir þættir geta orðið til þess að flóð verða stærri eða minni eftir atvikum. Sá tími sem flóðið tekur skiptir miklu máli, enda segir hann oftast nær til um möguleika viðkomandi svæðis til þess að losa sig við eða geyma vatnið. Aðrir þættir líkt og (i) stærð, lögun og staðsetning vatnasviðs; (ii) magn og rýmd jarðvegs; (iii) grunnvatnshæð; (iv) snjóhula og (v) það hvort yfirborð er ógegndræpt vegna ísalaga og hjarns geta einnig skipt sköpum. Þannig byggist flokkun og greining á tilurð flóða á mörgum síbreytilegum þáttum af veðurfarslegum og jarðfræðilegum toga auk mannlegra áhrifa.

2.4 Tjón vegna vatnsflóða

Flóð geta haft gríðarmiklar afleiðingar í för með sér, bæði efnahagslega sem og félagslega. Flóð geta verið til ama á ýmsan hátt með tjóni á byggingum og búpeningi og með rofi á samgöngum og flutningum. Í verstu tilfellum geta afleiðingar flóða verið slys á fólki eða jafnvel dauðsföll. Til lengri tíma geta flóð einnig haft varanlegar afleiðingar, þar með talið efnahagslegt tjón og heilsufarsvandamál. Ýmsir þættir ákvarða umfang og alvarleika flóða, svo sem:

- Uppruni, gerð og árstími flóða
- Veður- og vatnafræðilegar aðstæður í aðdraganda flóðs
- Hraði vatnshæðar- og rennslisbreytinga

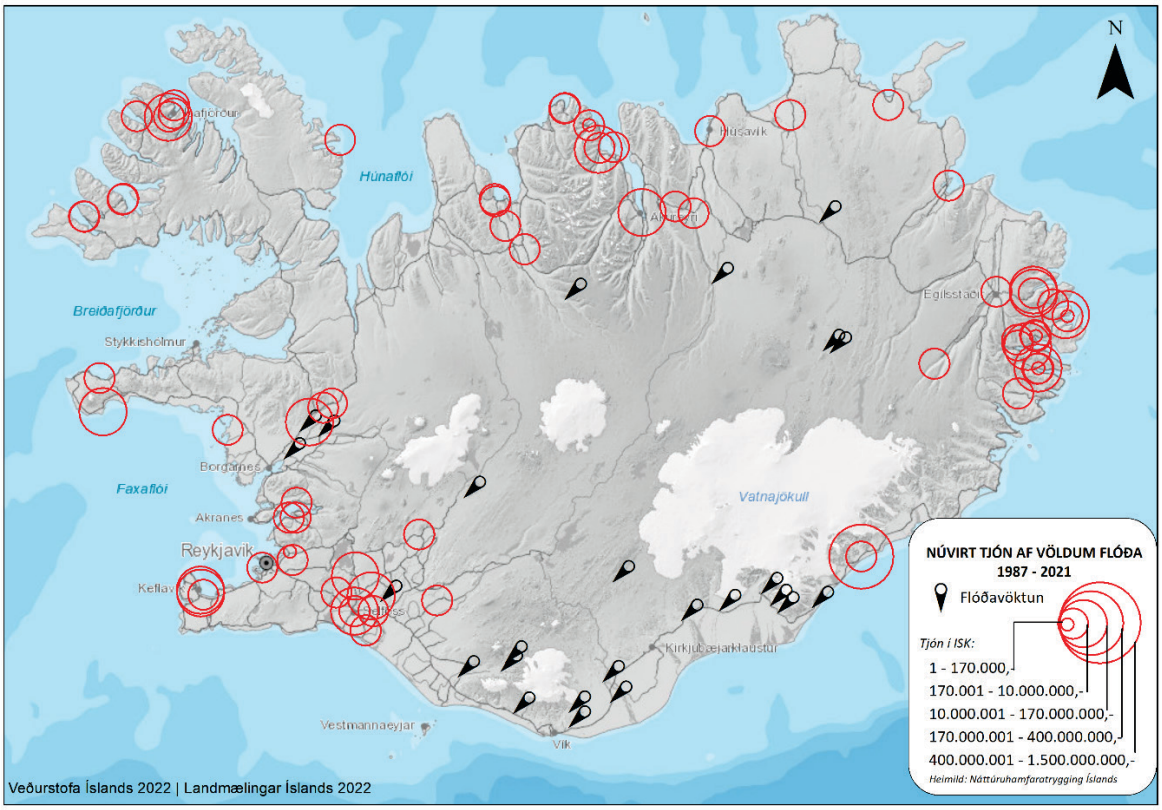
[1] Talað um mannvirkniflóð í heimild (Sigurjón Rist, 1990) en algengari orðanotkun nú til dags er mannvirkjaflóð.

- Dýpi og hraði flóðavatns
- Magn lausagrjóts, ísjaka, braks og annars efnis í flóðinu
- Hvort menn, dýr og eigur fólks verða fyrir áhrifum flóðsins
- Viðvaranir sem berast þeim sem gætu orðið fyrir áhrifum flóðsins

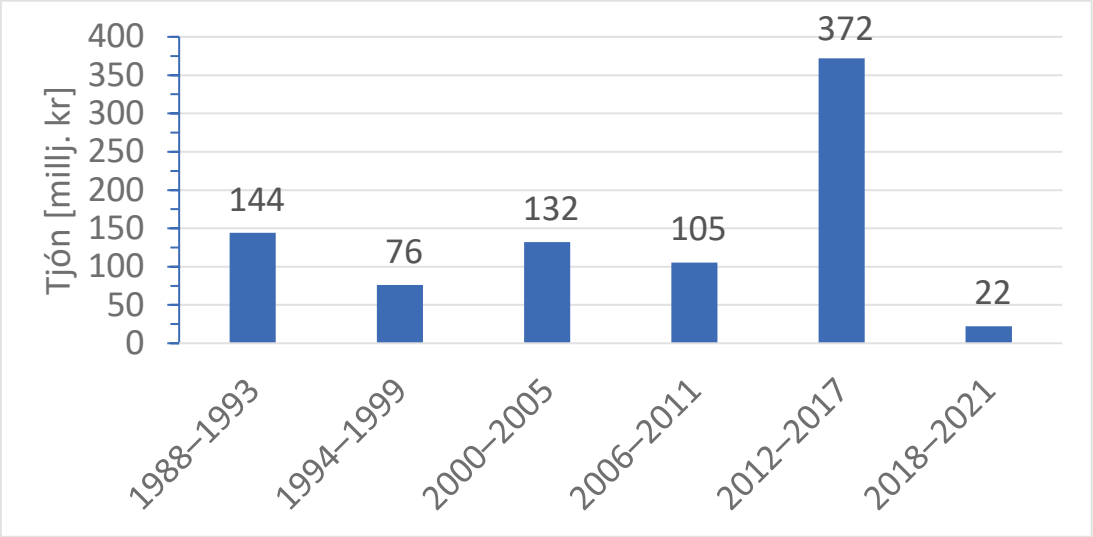
Í grein um rannsókn á viðveru eða berstöðu í flóðum innan 37 Evrópulanda (Paprotny o.fl., 2018), kemur fram að frá 1870 hefur orðið aukning á bæði svæðum sem fara árlega undir flóðvatn sem og fjölda fólks sem verður fyrir áhrifum flóða. Hins vegar hafa færri látist í flóðum og á síðustu árum má einnig greina lækkun efnahagslegs tjóns af völdum flóða. Höfundar greinarinnar telja líklegt að þetta séu afleiðingar mikillar tækniuppbyggingar sem orðið hefur á tímabilinu. Geysimiklar framfarir hafa orðið í fjarskiptum og samgöngumálum sem auðveldar viðvaranir, björgun og rýmingu. Með tilkomu veður- og vatnafræðistofnana hefur fjöldi og gæði mælinga einnig aukist. Gæðum spágagna hefur líka fleygt fram sem gefur kost á betri og tímanlegri viðvörunum og viðbúnaði. Eins ber að nefna að á síðustu árum og áratugum hefur þróunin verið sú að flóðavarnir, stjórnun flóðavár og neyðarstjórnun náttúruhamfara eru orðin eðlilegur þáttur opinberrar þjónustu á höndum ríkisins (Paprotny o.fl., 2018).

Hérlendis hafa vatnsflóð á vissum vatnasviðum og afleiðingar þeirra verið skoðuð. Flóð á vatnasviðum Eyjafjarðarár, Héraðsvatna, Hvítár í Borgarfirði, Lagarfljóts og Skjálfandafljóts voru greind í verkefni um söguleg flóð og sýndu niðurstöður að afleiðingar flóðanna voru að langmestu leyti efnahagslegar og oftast nær var um að ræða tjón á samgöngukerfinu. Fátítt er að fólk farist í vatnsflóðum hérlendis en greint var frá einu slíku dauðsfalli í þessari samantekt. Niðurstöður sýndu einnig að með árunum hefur flóðum sem valda skaða á samgöngumannvirkjum fækkað (Emmanuel Pagneux o.fl., 2017). Niðurstöður frá þessum tilteknu vatnasviðum sýna því svipaða tilhneigingu og fyrrnefnd rannsókn innan Evrópulandanna, þ.e.a.s. tæknileg uppbygging, í þessu tilfelli endurbætur og uppbygging samgöngumannvirkja, hefur þau áhrif að efnahagslegt tjón minnkar með tímanum. Ekki endilega vegna þess að flóðum fækkar eða þau minnka heldur standa mannvirkin þau frekar af sér. Það er þó ljóst að þrátt fyrir að fyrrnefnd rannsókn gefi vísbendingar um að dregið hafi úr tíðni flóða sem valda efnahagslegu tjóni (í þessu tilfelli, að mestu leyti skaða á samgöngumannvirkjum) þá gefur það ekki endilega raunsæja mynd af heildarafleiðingum vatnsflóða um land allt.

Ef skoðaðar eru tjónagreiðslur frá Náttúruhamfaratryggingu Íslands, kemur í ljós annars konar þróun en fyrrnefndar rannsóknir sýna. Á mynd 2 má sjá staðsetningu vatnsflóða sem valdið hafa tjóni og bætt hafa verið af Náttúruhamfaratryggingu Íslands á árunum 1987–2021. Á mynd 3 má sjá upphæð bótagreiðslna samkvæmt gögnum frá Náttúruhamfaratryggingu Íslands (2022). Hér er að mestu um að ræða árflóð líkt og fjallað var um í kafla 2.3, þ.e. þegar flóð verða vegna þess að ár eða lækir sem renna að staðaldri í afmörkuðum farvegi flæða skyndilega yfir bakka sína. Það kann hins vegar að vera að kortið á mynd 2 og upphæðir á mynd 3 sýni í einhverjum tilfellum einnig gögn um sjávarflóð þar sem ár- og sjávarflóð verða samtímis. Þess má geta að mat á efnahagslegum áhrifum með þessum hætti er varhugavert að því leyti að misjafnt getur verið eftir tímabilum og tilvikum hversu stór hluti tjónsins er sóttur til Náttúruhamfaratrygginga Íslands. Einnig getur þurft að taka tillit til umtalsverðs kostnaðar vegna röskunar á margs konar starfsemi þrátt fyrir að tjónagreiðslur geti verið litlar sem engar. Þannig geta t.d. samgöngur rofnað sem getur valdið vandamálum fyrir heimamenn, ferðamenn, vöruflutninga, framleiðslu og iðnað. Á undanförnum árum hefur víða orðið umtalsverð uppbygging samhliða auknum íbúa- og ferðamannafjölda. Þessi uppbygging hefur ekki alltaf verið gerð með hliðsjón af flóðasögu sem getur einnig haft áhrif á tjón og bætur vegna þeirra. Jafnframt má hafa í huga að þróun á upphæð bótagreiðslna kann að endurspegla breytingu á þekkingu eða kröfum frekar en nokkuð annað.



Mynd 2. Staðsetning flóða (jökulhlaup undanskilin og sjávarflóð að mestu) sem valdið hafa tjóni og verið bætt af Náttúruhamfaratryggingu Íslands á árunum 1987–2021 (Náttúruhamfaratrygging Íslands, 2022).



Mynd 3. Núvirtar tjónabætur frá Náttúruhamfaratryggingu Íslands vegna flóða (jökulhlaup undanskilin og sjávarflóð að mestu). Upphæðir í milljónum króna (Náttúruhamfaratrygging Íslands, 2022).

Sjá má að síðasta áratuginn hefur Náttúruhamfaratrygging greitt töluvert meira í tjónabætur vegna vatnsflóða heldur en áratugina þar á undan. Þessa hækkun má rekja til tveggja flóða; á Austfjörðum í lok desember 2015 og á Suðaustur- og Austurlandi í september árið 2017. Erfitt er að draga

ályktanir út frá þessum tilteknu upplýsingum um þróun flóða sem valda efnahagslegu tjóni og mun tíminn leiða í ljós hvort hækkun síðasta áratug er lýsandi fyrir það sem koma skal.

Eðlilegt má telja að leggja áherslu á efnahagslegt tjón fremur en dauðaslys við skoðun á afleiðingum vatnsflóða þar sem dauðaslys vegna vatnsflóða eru mjög fátíð og í samanburði við aðra náttúruvá hérlendis eru vatnsflóð sjaldnast flokkuð til alvarlegra hamfara. Flest dauðaslys af völdum náttúruhamfara hér á landi á síðustu öld urðu vegna sjóslysa og drukknana, næstflestir hafa látist vegna óveðurs á landi og því næst vegna snjóflóða (Tómas Jóhannesson, 2001). Þess ber þó að geta að jökulhlaup og önnur flóð sem hafa hraðan framgang og þar með stuttan viðbragðstíma geta verið mannskæð. Eins getur aukinn fjöldi ferðamanna og aukin ásókn á torsóttari staði, s.s. á miðhálendi Íslands (Anna Dóra Sæþórsdóttir o.fl., 2021), kallað á ríkari kröfur um greiningu á þeirri hættu og áhættu sem fólki kann að stafa af flóðum.

2.5 Loftslagsbreytingar

Loftslagsbreytingum munu fylgja auknar áskoranir vegna flóða. Skrifstofa Sameinuðu þjóðirnar um skaðaminnkun við náttúruhamfarir (UNDRR) hefur gefið út að loftslagsbreytingar grafi undan möguleikum til þess að ná markmiðum Sendai sáttmálans um aðgerðir til þess að draga úr áhrifum hamfara 2015–2030 (UNDRR, 2021). Það eru því ótvíræð tengsl á milli áhættustjórnunar og áhrifa loftslagsbreytinga. Mikilvægt er að tekið verði tillit til áhrifa loftslagsbreytinga í þeim ramma sem settur verður um mat á hættu og áhættu vegna flóða á Íslandi.

Í kafla 8 í skýrslu IPCC frá árinu 2021 kemur fram að með hlýnun loftslags muni magn og ákefð rigningar aukast sem gera megi ráð fyrir aðýti undir alvarleika flóða. Einnig kemur fram að með auknum hita og úrkomu megi búast við aukinni tíðni jökulhlaupa frá jaðarlónum, en hop jökla vegna loftslagsbreytinga getur leitt til myndunar nýrra jaðarlóna. Hop jökla samfara hlýnun getur þó einnig leitt til þess að fyrri jaðarlón og lón undir jökli hætti að safna vatni og jökulhlaup hætti. Nefna má Grænalón við Skeiðarárjökul sem dæmi en með þynningu jökulsins urðu hlaup úr því sífellt tíðari og minni (Matthew J. Roberts o.fl., 2005) þar til að hlaupin hættu alveg þegar að sírennsli var komið á úr lóninu. Í skýrslu IPCC (2021) er fjallað um flókin tengsl milli rigningar og flóða. Þó gera megi ráð fyrir að alvarleg flóð verði enn alvarlegri þá gætu flóð einnig orðið fátíðari á sumum stöðum. Meiri rigning þarf ekki alltaf að þýða stærri flóð þar sem stærð þeirra er háð mörgum þáttum s.s. landslagi, gerð vatnasviðs, varanda rigningar og jarðveginum sem rigningin fellur á. Á sumum svæðum gæti þannig jarðvegur orðið þurrari og haft meiri rýmd til þess að geyma vatn sem myndi orsaka minni flóð. Á hinn bóginn gæti fátíðari en meiri rigning leitt til þurrara yfirborðs sem verður nær ógegndræpt og geymir því ekkert vatn sem eykur yfirborðsafrennsli í vötn og ár. Aukin rigning á kostnað snjókomu ásamt vorleysingum sem hefjast fyrr á vorin getur valdið flóðum á köldum svæðum. Minni snjóþekja á vetrum getur hins vegar minnkað líkur á flóðum sem orsakast af rigningu og snöggri leysingu (IPCC, 2021). Þessar meginniðurstöður um áhrif loftslagsbreytinga á flóð eru í takti við það sem fram hefur komið í fyrri skýrslum, s.s. frá IPCC (2013) og í skýrslu vísindanefndar um loftslagsbreytingar á Íslandi (Halldór Björnsson o.fl., 2018). Í síðarnefndu skýrslunni kemur fram að gera megi ráð fyrir breytingum á flóðamynstri, einkanlega í formi færslu flóða á milli árstíða. Þannig kunni vetrarflóð að taka breytingum ef hlýnar að vetri. Á svæðum þar sem vorflóð hafa verið ríkjandi verða vetrarflóð algengari með hærra hlutfalli rigningar í úrkomu að vetri til og leysingaflóð að vori minnka að sama skapi (Halldór Björnsson o.fl., 2018).

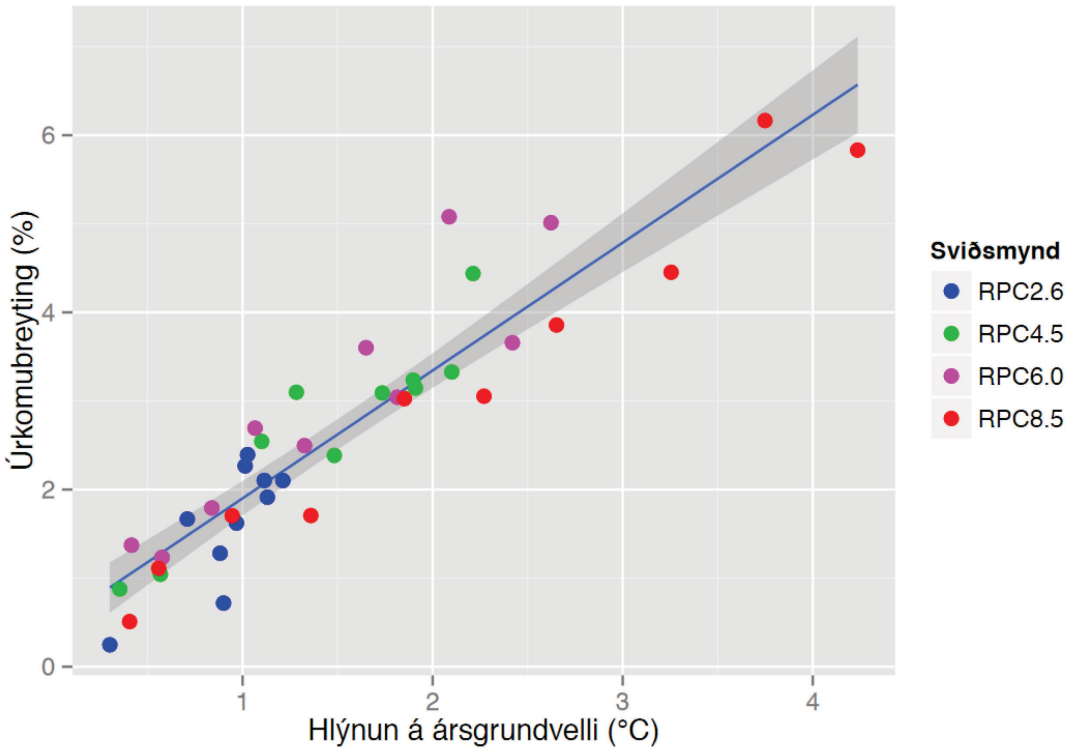
Skýrslur Philippe Crochet (2020; 2021) um mat á áhrifum loftslagsbreytinga á flóð og flóðatíðni á Íslandi hafa einnig sýnt fram á sambærilegar niðurstöður þar sem notaðar voru sviðsmyndirnar RCP4.5 og RCP8.5 á sex vatnasvið hérlendis, þrjú í hvorri skýrslu. Þar kemur fram færsla flóða á milli árstíða þar sem fjöldi flóða eykst yfir haust- og vetrarmánuði en fækkar að vor og sumarlagi.

Þetta gefur til kynna breytingu á þeim ferlum sem valda flóðum, með færri flóð af völdum leysingar en fleiri af völdum rigningar eða þegar saman fer rigning og leysing. Þar kemur einnig fram að rennsli innan vormánaða muni ýmist minnka eða fyrst aukast og svo minnka þegar líður á öldina. Rennslistoppar vorleysinga munu lækka og færast framar og á endanum hverfa í lok aldarinnar (í RCP8.5 sviðsmynd). Einnig er áætlað að sumarrennsli komi til með að minnka eða standa í stað, utan vatnasviða með jökulafrennsli. Að sama skapi mun rennsli yfir haust- og vetrarmánuði aukast. Á vatnasviðum þar sem hámarksrennsli ársins á sér jafnan stað í vorleysingum hefur þetta töluverð áhrif þar sem hámarksrennli ársins mun þá í auknum mæli eiga sér stað að vetri eða hausti. Þessar breytingar endurspegla áhrif minni snjóþekju með hækkandi hita sem orsakar minni vorleysingar (Crochet, 2021). Sýnt er fram á að flóð með ákveðinn endurkomutíma innan viðmiðunartímabils (1981–2010) gætu orðið allt upp í tvöfalt oftar í framtíðarsviðsmyndum fyrir 21. öldina. Niðurstöður gefa hins vegar til kynna að breytingar á stærð eða hámarksrennsli flóða með ákveðinn endurkomutíma verði hóflegar fyrir framtíðarsviðsmyndir samanborðið við viðmiðunartímabil, eða innan við 20% (Crochet, 2020). Niðurstöður rannsóknar um þróun flóðatoppa í Evrópu síðustu fimm áratugi í samhengi við loftslagsbreytingar gefa til kynna að flóð með 100 ára endurkomutíma fyrir fimm áratugum hafi nú styttri endurkomutíma. Þar kemur fram að stærð flóðs með 100 ára endurkomutíma frá árinu 1960 í norðvesturhluta Evrópu, hefur nú stærð á við flóð með 50–80 ára endurkomutíma (Blöschl o.fl., 2019).

Í skýrslu Massad o.fl. (2022) kemur fram að nú þegar má greina sumar þessara breytinga sökum loftslagsáhrifa hérlendis, t.d. ef skoðað er upphaf leysingartímabils yfir tímabilið 1979–2017. Niðurstöður skýrslunnar sýna fram á að innan 9 vatnasviða af 11 má sjá að upphaf leysingartímabils hefur færst fram um 5–29 daga. Einnig kemur fram lækkun á hlutfalli snjókomu af heildarúrkomu yfir sama tímabil innan þessara tilteknu vatnasviða. Mestu breytingar á þessu hlutfalli má sjá fyrir nóvembermánuð sem gefur til kynna að úrkoma falli í meira mæli sem rigning lengra fram á haustið og inn í veturinn (Massad o.fl., 2022).

Auk þess að greina áhrif loftslagsbreytinga á rennsli er hægt er að taka eitt skref til baka og rýna í samband úrkomubreytinga og hlýnunar á ársgrundvelli. Með því móti má greina meginferla sem hafa áhrif á tilurð flóða. Í skýrslu vísindanefndar um loftslagsbreytingar á Íslandi kemur fram að þótt torsóttara sé að greina breytingar á úrkomu samfara loftslagsbreytingum en hitabreytingar, er samband á milli þess hversu mikið hlýnar og hversu mikið úrkoma eykst að meðaltali, sjá mynd 4 (Halldór Björnsson o.fl., 2018). Úrkomuaukningin er metin um 1,5–2% fyrir hverja gráðu í hækkun hita en í sumum reiknilíkönum er aukningin allt að 4,5% fyrir hverja gráðu. Ljóst er að þessi úrkomuaukning er breytileg eftir svæðum og getur því verið mun meiri á sumum svæðum en minni á öðrum. Úrkomubreytingar eru mun sveiflukenndari en breytingar í hitafari og er því meiri óvissa í spám um úrkomubreytingar heldur en í spám um hitafar (Halldór Björnsson o.fl., 2018). Í fyrrnefndri skýrslu Massad o.fl. (2022) eru niðurstöður 1M5 korts[2] sem sýnir fimm ára endurkomugildi hámarksúrkomu yfir 24 klst. bornar saman við 1M5 kort þar sem tekið hefur verið tillit til úrkomubreytinga innan framtíðarsviðsmynda frá CMIP5 líkönum. Niðurstöður sýndu að miðgildi úrkomu yfir 24 klst. með 5 ára endurkomutíma yfir landið allt hækkar um u.þ.b. 5% úr 72 mm/24 klst. í 76 mm/24 klst., miðað við notkun miðgildis líkana, RCP8.5 og tímabilið 2080–2100. Niðurstöður miðað við notkun hærri hlutfallsmarka líkana (90%) en sömu sviðsmynd og tímabil sýna hækkun miðgildis 1M5 fyrir landið allt úr 72 mm/24 klst. í 92 mm/24 klst., eða um 28%.

[2] 1M5 kort sýna fimm ára endurkomugildi hámarksúrkomu yfir sólarhring og byggja á vinnu NERC (1975) um samhengi úrkomumagns í úrkomuatburðum og endurkomutíma. Hérlendis hafa þessi kort verið unnin fyrir greiningu á aftakaúrkomu og fyrir greiningu hönnunarflóða (Jónas Elíasson o.fl., 2009; Jónas Elíasson, 2000; 2013; Massad o.fl., 2020). Sjá nánar viðauka I.



Mynd 4. Samband úrkomubreytinga (%) og hitabreytinga (°C). Punktarnir sýna 10 ára meðaltöl. Einnig er sýnd besta lína og óvissumat hennar er skyggt (Halldór Björnsson o.fl., 2018).

Í skýrslu vísindanefndarinnar um loftslagsbreytingar kemur einnig fram að niðurstöður loftslagslíkana gefa vísbendingar um aukningu í úrkomuákefð hér á landi til loka aldarinnar. Í nágrannalöndum benda niðurstöður líkanreikninga til þess að úrkomuákefð aukist þar og nú þegar er farið að gera ráð fyrir ákafari regnskúrum við hönnun fráveitumannvirkja. Í rannsókn þar sem metin voru áhrif aukinnar flóðahættu og tíðni skúra á fráveitukerfi miðbæjar Reykjavíkur, kom í ljós að ef úrkomuákefð myndi aukast hérlendis um 20% þá myndi brunnum sem flæða í hönnunarskúr með 5 ára endurkomutíma fjölga um 70% (Ásta Ósk Hlöðversdóttir, 2010). Það er því ljóst að nauðsynlegt er að afla frekari upplýsinga um úrkomuákefð á þéttbýlisstöðum og einnig uppfæra hönnunarstaðla til þess að mæta mögulegum breytingum. Í skýrslu loftslagsráðs er fjallað um aðlögun vegna loftslagsvár út frá mismunandi afleiðingum, þar á meðal út frá flóðum (Magnús Örn Sigurðsson, 2020). Þar er enn fremur kallað eftir skipulögðum rannsóknum á loftslagsbreytingum og áhrifum þeirra á Íslandi. Að sama skapi er víða farið að kortleggja útbreiðslu flóða þar sem tekið hefur verið tillit til þeirra áhrifa sem má vænta með loftslagsbreytingum, s.s. í Noregi (Lawrence, 2016) og Svíþjóð (Arheimer og Lindström, 2015). Í báðum tilfellum eru tiltækar greiningar á áhrifum loftslagsbreytinga á flóð innan fjölda vatnasviða sem hægt er að nýta, s.s. við gerð hættu- og áhættumats flóða. Í greiningu á áhrifum loftslagsbreytinga á flóð er einnig nauðsynlegt að skoða samverkandi áhrif hækkunar sjávarstöðu og vatnsflóða vegna bakvatnsáhrifa nærri ósum áa. Í fyrrnefndri skýrslu vísindanefndar um loftslagsbreytingar kemur fram að gera megi ráð fyrir að lágmarki um hálfs metra hækkun sjávaryfirborðs, ef hlýnar um 2°C á öldinni (Halldór Björnsson o.fl., 2018). Líklegt má telja að taka þurfi tillit til þessara áhrifa þar sem vatnsflóð og há sjávarstaða kunna að fara saman.

3 Lykilþættir við áhættumat vegna flóða

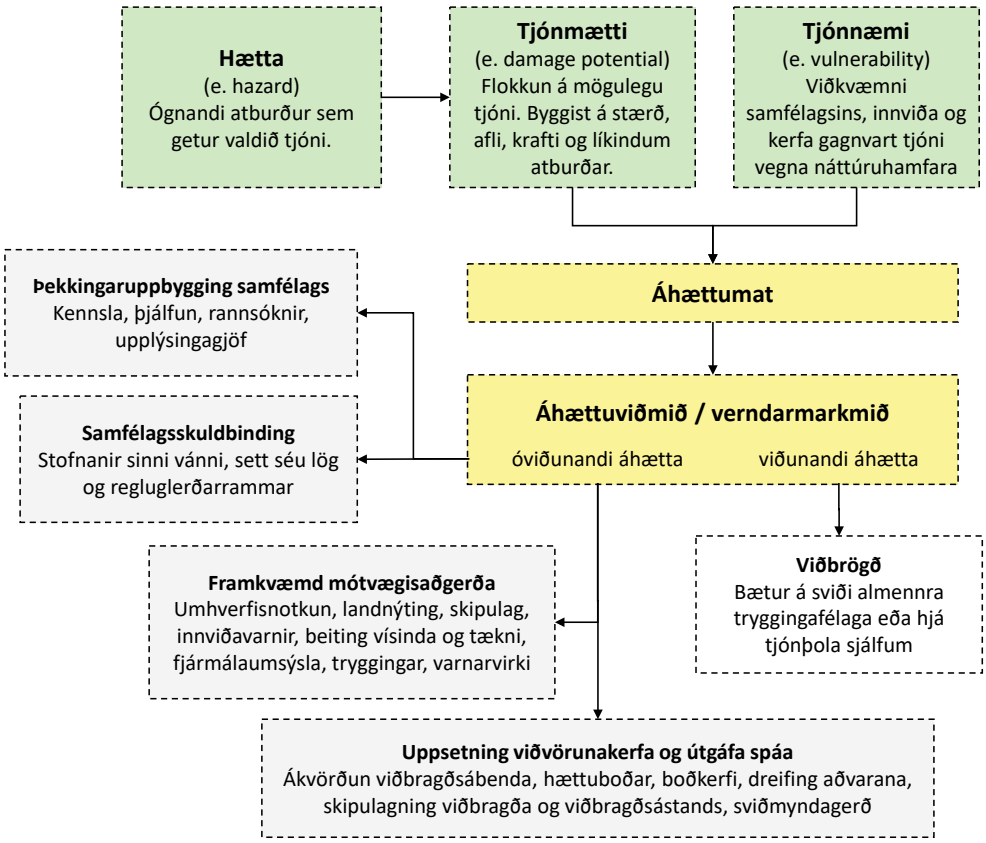
3.1 Áhættustjórnun

Áhættustjórnun felst almennt í því að bera kennsl á, greina og lágmarka áhættu eða í því að útiloka óviðunandi áhættu með viðeigandi aðgerðum. Enn fremur getur áhættustjórnun vegna vatnsflóða falist í viðleitni til þess að lágmarka áhættu í gegnum landnotkun og skipulag, með viðvörunarkerfum og rýmingaráætlunum. Áhættustjórnun getur jafnvel falist í tryggingum eða öðrum aðferðum við dreifingu á áhættu (WMO, 2009). Með þessu móti er leitast við að stjórna áhættu í stað þess að bregðast við henni þegar eða eftir að flóð á sér stað. Í stuttu máli má segja að áhættustjórnun vegna vatnsflóða felist að mestu leyti í nokkrum lykilþáttum. Þannig er nauðsynlegt að setja upp sviðsmyndir og reikna líkur á því að flóð af ákveðinni stærð verði og meta afleiðingar þess að flóðið verði miðað við núverandi aðstæður (félagslegar, hagrænar og umhverfislegar afleiðingar). Kortleggja þarf svæði sem líklegt er að lendi undir vatni og greina nákvæmlega áhrif tiltekins flóðs. Þá þarf að velja áhættuviðmið. Þegar fyrir liggur hvað eðlilegt þykir að miða við, er hægt að leggja til aðgerðir til þess að mæta þeim kröfum (United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), 2002).

Jafnan er gerður sá greinarmunur á hættu- og áhættumati í umfjöllun um náttúruvá að hættumat taki til tjónmættis og lýsi stærð, afli og krafti náttúruvárhamfara og hversu mikil líkindi eru á því að þær eigi sér stað, en áhættumat taki til bæði tjónmættis og tjónnæmis sem segir til um viðkvæmni samfélagsins, innviða og kerfa gagnvart tjóni. Á mynd 5 má sjá flæðirit fyrir áhættumat vegna flóða skv. áhættumatsramma Sameinuðu þjóðanna og Alþjóðaveðurfræðistofnunarinnar, sett saman af Trausta Jónssyni (2002). Eins og sjá má er ferlið víðtækt og snertir marga þætti innan samfélagsins. Segja má að fyrsti hluti áhættumats flóða felist í greiningu á hættu, tjónmætti og tjónnæmi. Úr þeim upplýsingum má vinna áhættumat og bera það saman við viðmið um viðunandi áhættu á hverjum tíma. Aðrir þættir sem spila inn í eru þekkingaruppbygging samfélagsins, samfélagsskuldbinding í formi laga og reglugerða, mótvægisaðgerðir, viðvörunarkerfi og spár ásamt viðbrögðum tryggingaraðila og tjónþola við tjóni.

3.2 Mat á tjónmætti

Hættumat felst í greiningu á tjónmætti. Tjónmætti byggist á stærð, afli og krafti náttúruváratburðar og hversu mikil líkindi eru á því að hann eigi sér stað, óháð því hvort byggð eða mannvirki séu til staðar. Tjónmætti árflóða ræðst annars vegar af vatnsdýpinu og hins vegar af straumhraða vatnsins. Til þess að hægt sé að leggja mat á tjónmætti tiltekins viðmiðunarflóðs er því nauðsynlegt að herma það í straumfræðilíkani. Straumfræðilíkön geta gefið upplýsingar um helstu kennistærðir flóða með því að líkja eftir rennslisháttum vatnsfalla. Líkönin geta hermt flóðhraða og flóðdýpt og með tímaháðum líkanreikningum má einnig fá upplýsingar um framgang flóða, þ.e.a.s. hversu hratt þau koma fram, breiða úr sér og hjaðna. Nauðsynleg inntaksgögn einfaldra straumfræðilíkana eru nákvæm landhæðargögn og upplýsingar um hrýfi yfirborðs sem viðbúið er að flæði yfir. Þegar búið er að stilla líkanið af þannig að vatnshæð í farveginum á hverjum tíma sé í samræmi við mælda vatnshæð fyrir tiltekið rennsli er unnt að líkja eftir útbreiðslu flóða af valinni stærð.



Mynd 5. Heildaráhættumat skv. áhættumatsramma Sameinuðu þjóðanna og Alþjóðaveðurfræðistofnunarinnar. Sett saman af Trausta Jónssyni (2002).

Tjónmætti er gjarnan notað til þess að meta hvort straumhraði og vatnsdýpi verði umfram það sem líklegt er að mannvirki þoli eða hvort fólki stafi hætta af flóðum af ákveðinni stærð. Með því að flokka tjónmættisgildi eftir stærð má þannig leggja mat á hættu gagnvart fólki eða húsum og innviðum. Dæmi um útreikning á tjónmætti má finna innan aðferðar bresku ríkisstofnunarinnar DEFRA við mat á áhættu fólks vegna vatnsflóða (DEFRA, 2006a,b). Tjónmætti flóða (hér nefnt *HR* sem stytting á *Hazard Rating*) á tilteknum stað er fall af hámarksstraumhraða og dýpi flóðsins á viðkomandi stað. Auk þess er tekið tillit til stuðuls sem lýsir magni lausagrjóts, ísjaka, braks og annars efnis sem berst með flóði (e. *debris factor*).

$$HR = (v + 0{,}5) \times D + DF \qquad (1)$$

v = Straumhraði (m/s)
D = Flóðdýpi (m)
DF = Stuðull sem lýsir magni lausagrjóts, ísjaka, braks og annars efnis í flóðinu

Fastanum 0,5 er bætt við straumhraðann til þess að koma í veg fyrir að djúpt vatn með lítinn straumhraða flokkist sem hættulaust. Meta má straumhraða og flóðdýpi með straumfræðilegum líkanreikningum. Liggi slíkir reikningar ekki fyrir er hægt að meta flóðdýpi út frá landupplýsingagögnum eða flóðahæð þekktra flóða, en straumhraða út frá eftirfarandi upplýsingum:

- 0,5 m/s fyrir flatlendi og flóðsléttur
- 2,0 m/s fyrir brattari vatnasvið

DF tekur gildi á bilinu 0–1. Gildið 0 á við hæg flóð sem bera ekki með sér lausagrjót, ísjaka eða annað efni. Gildið 0,5 á við flóð sem ber með sér lausagrjót, ísjaka og brak og gildið 1 á við flóð sem ber með sér mikið af slíku. Nota má tjónmætti flóða til þess að flokka þá hættu sem fólki stafar af flóðum að teknu tilliti til flóðhraða, dýpis og *DF* gildis, en samkvæmt DEFRA er mælt með flokkun á tjónmættisgildum skv. töflu 1 (Surendran o.fl., 2008).

Tafla 1. Hætta sem fólki stafar af flóði, samkvæmt flokkun tjónmættisgilda með notkun á aðferðafræði frá DEFRA (Surendran o.fl., 2008).

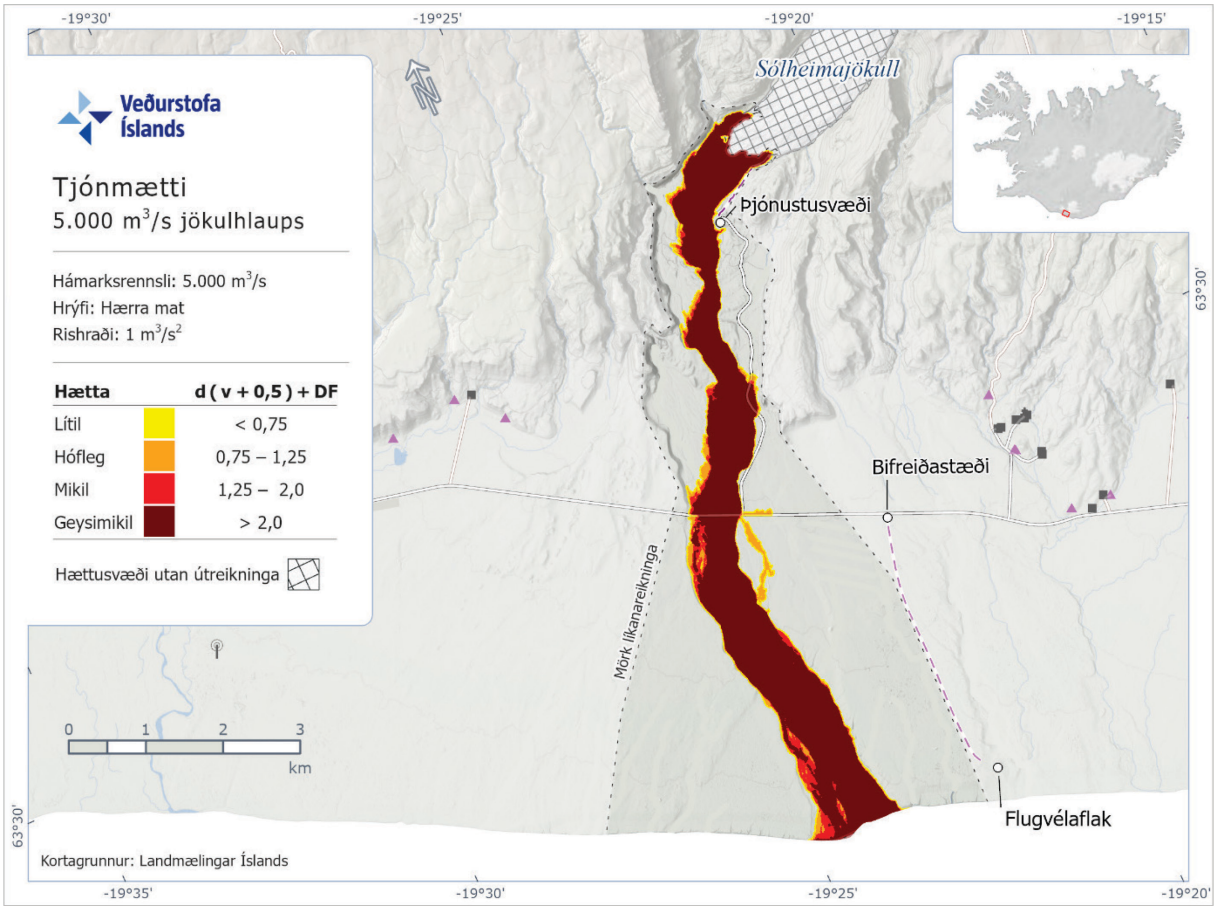
Tjónmættisgildi (*HR*)	**Litaflokkun**	**Hætta gagnvart fólki**
< 0,75		Mjög lítil hætta
0,75–1,25		Hætta fyrir börn, eldra fólk og þá sem fara hægt yfir
1,25–2,0		Hætta fyrir flesta
> 2,0		Hætta fyrir alla, þ.m.t. fyrir björgunaraðila

Annar kvarði hefur einnig verið notaður hérlendis og gefur hann bæði mat á áhrifum tjónmættis á byggingar og fólk (Emmanuel Pagneux og Matthew J. Roberts, 2015). Sá kvarði nýtir einungis margfeldi dýpis og straumhraða við útreikning á tjónmætti, skammstafað á ensku sem dv, sjá töflu 2. Á Íslandi hefur þessi aðferð t.d. verið notuð til þess að greina tjónmætti vatnsflóða í Ölfusá (Emmanuel Pagneux o.fl., 2019), í Skaftárhlaupum (Emanuel Pagneux o.fl., 2018) og tjónmætti jökulhlaupa af völdum eldsumbrota í Öræfajökli og Kötlu (Emmanuel Pagneux og Matthew J. Roberts, 2015).

Tafla 2. Kvarði yfir tjónmætti flóða skv. Emmanuel Pagneux og Matthew J. Roberts (2015).

Hætta	**Margfeldi dýpis og straumhraða (m^2/s)**	**Tjón á byggingum**	**Manntjón**
Lítil	< 0,25	Að mestu bundið við tjón á innbúi og húsgögnum	Slys eða dauðsföll ólíkleg
Hófleg	0,25–1,3	Byggingar standast flóð en reikna má með nokkrum skemmdum	Hætta fyrir börn og eldra fólk, bæði inni í byggingum og utan þeirra
Mikil	1,3–7	Eyðilegging léttbyggðra bygginga	Allir sem verða fyrir flóðinu eru í lífshættu, bæði inni í húsum og utandyra
Geysimikil	≥ 7	Alger eyðilegging allra húsa nema þeirra sem eru sérstaklega styrkt. Steinsteypt, járnbent hús skemmast að því marki að þau eru ónýt á eftir.	Allir sem verða fyrir flóðinu eru í lífshættu, bæði inni í húsum og utandyra

Dæmi um niðurstöður flóðahættumats má sjá á mynd 6 sem sýnir kort af mesta tjónmætti í 5.000 m^3/s jökulhlaupi frá Sólheimajökli niður á Sólheimasand (Bergur Einarsson o.fl., 2022). Niðurstöðurnar byggjast á notkun á aðferðafræði DEFRA við útreikning á tjónmætti og litaflokkun samsvarandi við flokkunina sem sjá má í töflu 1.



Mynd 6. Dæmi um niðurstöður úr flóðahættumati: Kort af mesta tjónmætti í 5.000 m^3/s jökulhlaupi frá Sólheimajökli niður á Sólheimasand (Bergur Einarsson o.fl., 2022).

3.3 Mat á tjónnæmi

Til eru ýmsar skilgreiningar á áhættu og hugtakið áhætta getur haft mismunandi merkingu í huga almennings, fræðimanna og jafnvel milli fræðigreina. Í orðskýringum í kafla 1.2 kom fram að í þessari samantekt er fjallað um áhættu sem það tjón sem ákveðin ógn veldur á tilteknu svæði yfir viðmiðunartímabil. Sé áhætta sett fram á stærðfræðilegan hátt er hún margfeldi hættu (að teknu tilliti til tjónmættis) og tjónnæmis (að teknu tilliti til viðveru). Þess ber að geta að hér er viðvera tvinnuð saman við tjónnæmi en einnig er þekkt að viðvera sé greind sérstaklega. Samkvæmt Alþjóðaveðurfræðistofnuninni (WMO, 1999 [2006]) felst áhættumat gjarnan í fjórum grunnþáttum: (i) Mati á hættu eða tjónmætti; (ii) Mati á viðveru, s.s. fólk, eignir og innviðir sem verða útsett fyrir hættu og geta orðið fyrir tjóni; (iii) Mati á tjónnæmi, jafnan gefið upp sem tjónhlutfall (mælt í prósentum, frá 0 til 100%) sem yrði ef náttúruhamfarir eða atburðir sem geta valdið tjóni eiga sér stað. Tjónið getur verið: a) manntjón, b) slys, c) eignatjón, d) samfélagslegs eðlis; (iv) Margfeldi tjónmættis, viðveru og tjónnæmis til þess að leggja mat á áætlað tjón (WMO, 1999 [2006]).

Tjónnæmi gefur til kynna viðkvæmni samfélagsins, innviða og kerfa gagnvart tjóni sem hlýst af tilteknu viðmiðunarflóði. Áhætta vegna flóða er síðan samspil tjónmættis flóða og tjónnæmis, að teknu tilliti til viðveru. Því má segja að aðeins þegar tjónmætti og tjónnæmi eru þekkt er hægt að reikna út áhættu. Mikilvægt er átta sig á því að tjónnæmi getur verið breytilegt í tíma og rúmi. Það getur til að mynda breyst með breytilegum fjölda ferðamanna eftir árstíðum eða með breyttri viðveru vegna skipulagsbreytinga. Mannvirki eru ólík og kunna að þola að standa í kyrrstæðu vatni en síður áraun af þungum vatnsstraumi. Það fer eftir gerð og hönnun mannvirkja hvort vatnshraði eða vatnsdýpi hefur skaðleg áhrif á þau. Með þessu er ljóst að áhættu þarf að skoða reglulega eftir því sem tímar og aðstæður breytast. Einnig þarf að horfa til þols, þ.e. hversu vel fólk, kerfi eða samfélag er í stakk búið að takast á við ógnina sem er vatnsflóð í þessu tilfelli, og hæfni samfélagsins til þess að halda eðlilegri virkni eftir flóð. Greining á tjónnæmi felur því í sér að skilja eðli þess en einnig hæfni tiltekins kerfis til þess að takast á við og jafna sig eftir hamfarir.

Dæmi um áhrif flóða eru þegar fólk, byggingar, innviðir eða hverjar aðrar eignir verða fyrir tjóni af völdum flóðs. Einnig geta áhrifin verið óbein með tengslum út fyrir áhrifasvæði flóðs, s.s. með rofi á samgöngum. Áhætta getur verið umtalsverð þar sem flóð eru tíð (jafnvel á hverju ári) með hóflegum afleiðingum og sama getur átt við þar sem flóð eru afar fátíð (t.d. eitt að jafnaði á hverjum 1000 árum) en með mjög miklum afleiðingum (Flood site, 2009). Hægt er að setja þetta fram í mjög einföldu áhættufylki þar sem líkur flóða og áhrif þeirra hafa fengið gildi frá einum (lágar líkur/lítil áhrif) upp í fimm (miklar líkur/mikil áhrif), sjá mynd 7. Grænir reitir merkja litla áhættu eða það sem gjarnan er nefnt viðunandi eða ásættanleg áhætta, gulir merkja miðlungs áhættu og rauðir mikla áhættu. Fyrrnefnd dæmi gætu bæði fengið gildið 5 innan áhættufylkisins með annars vegar líkur með gildið 1 og áhrif með gildið 5 (fátíð stórflóð) og hins vegar líkur með gildið 5 og áhrif með gildið 1 (tíð minni flóð). Þetta gæti svo tekið breytingum sé tekið tillit til þolmarka samfélagsins. Milli grænu reitanna og rauðu reitanna innan fylkisins á mynd 7 liggur breitt svæði þar sem nauðsynlegt er að taka ýmsar ákvarðanir um kostnað og ávinning til þess að koma áhættunni á viðunandi stig. Þessi framsetning er oft tengd hugtakinu ALARP sem merkir að áhættu eigi að lágmarka eins og kostur er (HSE, 2001), sjá einnig mynd 1. Þegar áhættumat hefur farið fram þarf því að bera hana saman við áhættuviðmið eða aðra áhættu sem búið er við.

	Líkur				
Áhrif	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
2	2	4	6	8	10
3	3	6	9	12	15
4	4	8	12	16	20
5	5	10	15	20	25

Mynd 7. Dæmi um einfalt áhættufylki.

Ef kortleggja á áhættu vegna flóða þarf því að taka ákvörðun um hvaða þætti skal greina við mat á tjónnæmi. Skal takmarka matið við áhættu fólks eða t.d. við efnahag, umhverfi eða samfélagsleg áhrif. Upplýsingar um virði eigna, innviða, starfa og umhverfis getur verið erfitt að nálgast og því getur sá þáttur sem fellur undir mat á tjónnæmi reynst flókinn í framkvæmd. Kortlagning áhættu felst gjarnan í því að sýna meðaltjón á flatarmálseiningu, oft gefið upp sem mögulegt fjárhagslegt tap á flatarmálseiningu og tíma (GWP og WMO, 2013). Hægt er að skilgreina samband milli flóðadýpis og tjóns og nýta það við mat á efnahagslegu tjónnæmi (Moel o.fl., 2017).

3.4 Tjónnæmi fólks

Ljóst er að minnihluti vatnsflóða hérlendis hefur í för með sér svo mikla hættu að mannslíf séu í húfi. Í vatnsflóðum er almennt meiri hætta á eignatjóni og samfélagslegri röskun vegna tjóns á innviðum. Áhætta vegna flóða beinist því sjaldan að líkum á dauðsfalli eins og í annarri náttúruvá, en frekar að því að draga úr hættu á efnahagslegu tjóni og samfélagslegri röskun. Þó geta jökulhlaup og skyndiflóð verið mannskæð og því eðlilegt að horfa til áhættu fólks vegna flóða í þeim tilfellum.

Þar sem mannslíf kunna að vera í hættu greinist áhættumat víða í tvo þætti: Einstaklingsáhættu (e. *individual risk*) og samfélagslega áhættu (e. *societal risk*). Einstaklingsáhætta af flóði er skilgreind sem líkur á því að óvarinn dæmigerður einstaklingur sem er stöðugt á flóðasvæðinu, myndi látast af slysförum vegna flóðsins (Bottelberghs, 2000; Jonkman o.fl., 2002). Miðað er við einstaklingsbundna áhættu í hættumati vegna ofanflóða en hún er skilgreind sem árlegar líkur á því að einstaklingur sem dvelur á ákveðnum stað látist af völdum ofanflóða (Kristján Jónasson o.fl., 1999; Umhverfisráðuneytið, 2000). Áhætta af völdum snjóflóða sem er jöfn eða minni en 0,2·af 10.000 á ári er talin viðunandi af stjórnvöldum hérlendis (Umhverfisráðuneytið, 1997). Þess má geta að oft eru ekki sömu áhættuviðmið fyrir einstaklinga og hópa og það sem telst ásættanlegt í áhættuviðmiðum einstaklinga getur talist óásættanlegt fyrir hópa (HSE, 2001). Þetta getur leitt af sér að kröfur um öryggi gagnvart hópslysum eru mun strangari en ella og falla þau því undir samfélagslega áhættu. Samfélagsleg áhætta er skilgreind sem líkur á því að að hópur af fleiri en N manneskjum farist vegna tiltekinnar hættu, í þessu tilfelli vegna flóða (Bottelberghs, 2000; Jonkman o.fl., 2002). Samfélagsleg áhætta er gjarnan sett fram á svokölluðu F/N línuriti þar sem tíðni hættunnar á ári er sýnd á móti fjölda látinna (Bottelberghs, 2000; Jonkman o.fl., 2002).

Til þess að unnt sé að leggja mat á líkur þess að mannslíf kunni að vera í hættu vegna flóða þarf að taka tillit til mismunandi þátta s.s. viðvarana og möguleika fólks á að flýja hættuna. Breska ríkisstofnunin DEFRA hefur lagt fram aðferðafræði til þess að meta og kortleggja áhættu fólks vegna vatnsflóða (DEFRA, 2003, 2006a). Aðferðafræðin byggist á þremur þáttum: i) mati á tjónmætti flóðsins (e. *hazard rating*, *HR*), ii) tjónnæmi svæðis (e. *area vulnerability*, *AV*) og iii) tjónnæmi fólks (e. *people vulnerability*, *PV*). Sjá má umfjöllun og útskýringu á mati á tjónmætti flóðs (*HR*) í kafla 3.2.

Mat á tjónnæmi svæðis (*AV*) byggist á þremur þáttum; viðvörunarkerfi, rishraða (e. speed of onset) og svæðisbundnum eiginleikum. Heildarmat á tjónnæmi svæðis er eftirfarandi:

$$AV = \text{Mat á viðvörunarkerfi} + \text{rishraði} + \text{svæðisbundnir eiginleikar} \qquad (2)$$

Mat á viðvörunarkerfi fer fram með eftirfarandi stigakerfi:

- 3 stig. Svæði án viðvörunarkerfis.
- 2 stig. Viðvörunarkerfi sem er takmörkunum háð er rekið á svæðinu.
- 1 stig. Áreiðanlegt viðvörunarkerfi ásamt neyðaráætlunum er rekið á svæðinu.

Svæðum eru gefin stig á bilinu 1–3 út frá upplýsingum um rishraða mögulegra flóða:

- 3 stig. Mjög áhættusöm svæði, þar sem hætta er á skyndiflóðum eða jökulhlaupum.
- 2 stig. Svæði með miðlungsáhættu þar sem ristími er um 1 klst.
- 1 stig. Áhættulítil svæði þar sem ristími er langur (margar klst.).

Mat á svæðisbundnum eiginleikum fer fram með eftirfarandi stigagjöf:

- 3 stig. Mjög áhættusöm svæði, t.d. fjölfarnir vegir, sumarhús, tjaldstæði og skólar á einni hæð.

- 2 stig. Svæði með miðlungsáhættu, t.d. tveggja hæða íbúðarhús og atvinnuhúsnæði.
- 1 stig. Áhættulítil svæði, t.d. margra hæða byggingar.

Stigagjöf svæðis út frá eiginleikum og byggingum er ætlað að endurspegla mat á því hvort fólk á tilteknu svæði eigi meiri eða minni möguleika á að leita skjóls fyrir flóðum heldur en á svæði með miðlungs eiginleikum.

Samkvæmt DEFRA er mat á tjónnæmi fólks (*PV*) áætlað með því að leggja saman hlutfall hreyfihamlaðra eða fólks sem glímir við langtíma veikindi annars vegar og þeirra sem eru yfir 75 ára aldri hins vegar. Þetta mat lýsir hlutfalli fólks á svæðinu sem á erfitt með að forða sér undan flóðum og er því í meiri hættu en aðrir. Við prófun aðferðarfræðinnar hérlendis hefur þó verið lagt upp með að víkja frá þessari frumskilgreiningu, einkum ef um er að ræða torsótta ferðamannastaði. Á slíkum stöðum eru fáir hreyfihamlaðir og yfir 75 ára aldri en búast má við að hluti gesta sé hins vegar hægfara sökum ókunnugleika, torfarins landslags og annarra slíkra þátta. Hér er því mælt með því að skilgreina tjónnæmi fólks (*PV*) með því að leggja mat á hlutfall fólks á svæðinu sem gæti átt í slíkum vandræðum með að forða sér en ekki einskorða matið við aldur og hlutfall hreyfihamlaðra.

Með því að taka saman upplýsingar um þessa þrjá þætti í einföldu stigakerfi má með áhættureikningum leggja fram mat á fjölda þeirra sem láta lífið í tilteknu flóði, sjá má dæmi um áhættureikninga DEFRA í viðauka IV. Aðferðafræði DEFRA var þróuð með því að skoða og greina heimildir um flóð í Evrópu og leggja fram tillögur eða frumgerð að jöfnum sem sýna samband milli tjónmættis og tjónnæmis. Jöfnurnar voru kvarðaðar með ítrunarferli út frá gögnum um afleiðingar þekktra flóða í Bretlandi, s.s. fjölda þeirra sem slösuðust eða létust í tilteknu flóði (Penning-Rowsell o.fl., 2005; DEFRA, 2006b). Tengja má niðurstöður aðferðarinnar annars vegar við upplýsingar um viðveru á árlegum grunni og hins vegar við upplýsingar um árlegar líkur á því að ákveðið flóð eða hlaup verði. Með þessu móti má áætla árlegar líkur á því að einstaklingur látist í flóðum eða hlaupum á tilteknum stað. Gefin hefur verið út greinargerð með skoðun og prófun á aðferðafræði DEFRA með því markmiði að leggja mat á hvort hún nýtist við íslenskar aðstæður (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2020). Aðferðafræðin hefur þegar verið nýtt hérlendis við áhættumat vegna jökulhlaupa á Sólheimasandi (Bergur Einarsson o.fl., 2022) en gera má ráð fyrir að nýta mætti aðferðafræðina fyrir allar tegundir vatnsflóða og jökulhlaupa, þar með talin skyndiflóð.

4 Aðferðafræði og viðmið í öðrum löndum

Í þessum kafla er sagt frá viðmiðum flóðatilskipunar Evrópusambandsins og farið yfir hvernig vali á flóðasviðsmyndum, kortlagningu flóðahættu og áhættu er háttað milli ólíkra landa. Stuðst er við samantekt Evrópusambandsins frá árinu 2016 um aðferðafræði sem notuð er við kortlagningu flóðahættu og áhættu. Til samanburðar er einnig fjallað um viðmið í Noregi, Bandaríkjunum og Kanada. Hér er miðað við ferlið frá því að ákvörðun um gerð hættu- eða áhættumats flóða liggur fyrir, en áður en sú ákvörðun liggur fyrir er gjarnan unnið mat á því hvaða staðir og svæði eru viðkvæm gagnvart flóðum. Ekki verður frekar fjallað um þennan undirbúningsþátt en hann má byggja á upplýsingum um söguleg flóð eða beita aðferðafræði sem greinir sjálfkrafa staði sem útsettir eru fyrir flóðum. Aðferðafræði og upplýsingar um greiningu svæða sem eru útsett vegna flóðahættu má t.d. finna í skýrslum norsku vatna- og orkumálastofnunarinnar (NVE) um frumáhættumat vegna flóða í Noregi (Peereboom o.fl., 2011), um öryggi bygginga vegna flóða og skriðufalla (Kalsnes o.fl., 2021) og í minnisblaði um hættusvæði flóða (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2020). Einnig hefur verið lögð til aðferðafræði sem er ætlað að ná yfir svæði sem

eru útsett vegna skriðna og flóða út frá kortlagningu á aurkeilum neðan brattra árfarvega (Jarsve ofl., 2020).

4.1 Flóðatilskipun Evrópusambandsins

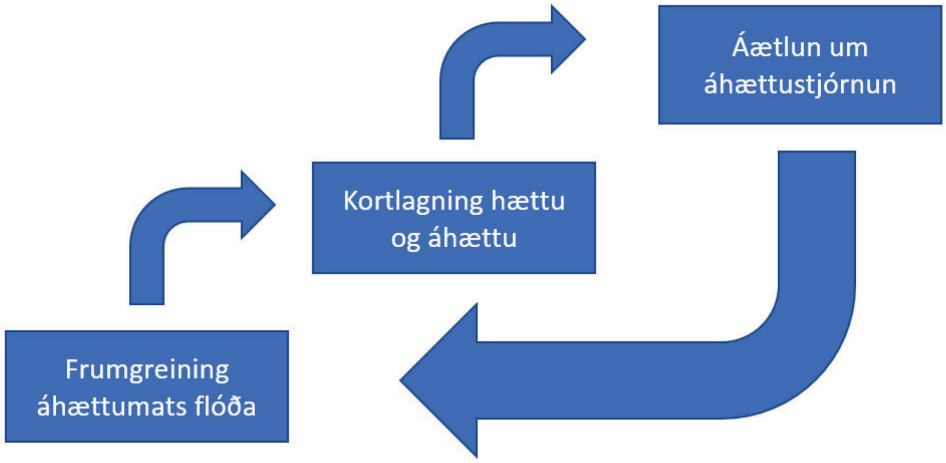
Árið 2002 samþykktu forstjórar vatnamála (e. *Water Directors*) innan Evrópusambandsins, í Noregi og Sviss ásamt aðildarlöndum að taka frumkvæði um flóðaspár, flóðavarnir og mótvægisaðgerðir gegn flóðum. Á þessum tíma höfðu mikil flóð geisað innan Evrópu en engin verkfæri voru tiltæk til þess að kljást við flóðavá á evrópskum vettvangi. Úr varð Flóðatilskipun Evrópusambandsins sem tók gildi árið 2008 (Mostert og Junier, 2009).

Í Flóðatilskipun Evrópusambandsins er þess krafist að viðeigandi og fullnægjandi tillit sé tekið til flóðahættu og að samræmdar ráðstafanir séu gerðar til þess að draga úr áhættu sem fylgir flóðum (Flóðatilskipun 2007/60/EC). Tilskipunin byggir á ferli með þremur fösum sem eru endurskoðaðir reglulega, sjá mynd 8. Fyrsti fasinn er frumgreining áhættu vegna flóða (e. *preliminary flood risk assessment*) og var miðað að því að öll aðildarríki hefðu lokið við hann árið 2011. Frumgreining skal framkvæmd á svæðum þar sem flóð eru hugsanleg eða líkleg í framtíðinni. Almennt byggist frumgreiningin á fyrirliggjandi gögnum og á a.m.k. að innihalda kort af vatnasviðum, lýsingu á sögulegum flóðum og mat á mögulegum afleiðingum flóða í framtíðinni (Flóðatilskipun 2007/60/EC).

Næsti fasi er kortlagning hættu og áhættu en þeim fasa áttu aðildarríki að hafa lokið árið 2013. Flóðahættukort eiga að ná yfir svæði sem gætu farið undir vatn í mismunandi sviðsmyndum, s.s. í hamförum (með lágar líkur), í meðalstórum flóðum (með endurkomutíma ≥ 100 ár) og jafnvel í tíðum flóðum ef það þykir nauðsynlegt. Fyrir hverja sviðsmynd skal sýna umfang flóða, vatnsdýpi eða hæð vatnsborðs (e. *water level*) og straumhraða ef ástæða þykir til. Flóðaáhættukort eiga að sýna afleiðingar flóða hvað varðar fjölda íbúa, sem og umhverfis- og efnahagsleg áhrif flóða (Flóðatilskipun 2007/60/EC) og taka þannig tillit til tjónnæmis.

Síðasti fasinn er áætlun um áhættustjórnun flóða (e. *flood risk management plans*) og átti hann að liggja fyrir innan aðildarríkja árið 2015. Þessi síðasti fasi á að innihalda alla þætti áhættustjórnunar en þó með aðaláherslu á forvarnir, varnir og viðbúnað (e. *prevention, protection, preparedness*). Helstu forvarnir eru að draga úr tjóni vegna flóða með því að forðast byggingu mannvirkja á núverandi og mögulegum flóðasvæðum. Varnir fela í sér að minnka líkur á flóðum og afleiðingum þeirra t.d. með varnargörðum eða endurheimt votlendis. Með viðbúnaði er t.d. átt við að dreifa leiðbeiningum til almennings um aðgerðir í yfirvofandi flóðahættu (Flóðatilskipun 2007/60/EC). Endurskoða á alla fasa á u.þ.b. sex ára fresti en þannig átti að endurskoða frumgreiningu áhættumats árið 2018, hættu- og áhættukort árið 2019 o.s.frv.

Flóðatilskipun ESB hefur ekki verið tekin upp innan EES samningsins og hefur hún því ekki verið innleidd á Íslandi. Í ljósi þess að flest nágrannalönd okkar og þau lönd sem Ísland ber sig gjarnan saman við hafa innleitt tilskipunina og byggja sitt flóðastjórnunarkerfi á henni er þó eðlilegt að nýta innihald hennar eins og hægt er. Í verkefnum sem unnin hafa verið af VÍ um hættumat vegna flóða hefur gjarnan verið stuðst við aðferðafræði flóðatilskipunar ESB (m.a. Emmanuel Pagneux o.fl., 2019; Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2021).



Mynd 8. Ferli innan Flóðatilskipunar frá frumgreiningu áhættumats til áætlunar yfir áhættustjórnun.

4.2 Kortlagning flóðahættu

Löndum innan Evrópusambandsins er skylt að taka upp flóðatilskipunina sem tók gildi 2008 og fara þau því meira og minna eftir því ferli sem þar er tilgreint. Ferlið er því almennt séð nokkuð svipað milli landa. Yfirleitt eru valin viðmiðunarflóð þ.e. flóð sem litlar, meðal eða miklar líkur eru á að verði. Nauðsynlegt er því að skilgreina viðmið fyrir endurkomutíma flóða sem talist geta hamfaraflóð (með litlar líkur), fyrir meðalstórt flóð (í flóðatilskipun er lagt til ≥ 100 ár) og jafnvel fyrir tíð flóð (með miklar líkur) ef það þykir nauðsynlegt (Flóðatilskipun 2007/60/EC). Í töflu 3 hér að neðan má sjá dæmi um endurkomutíma í árum sem notaðir eru við flóðahættumat og flóðakortlagningu í nokkrum löndum í Evrópusambandinu, skv. samantekt frá árinu 2016 (European Commission, 2016).

Tafla 3. Endurkomutími flóða sem notaður er við hættumat og kortlagningu flóða í nokkrum löndum Evrópusambandsins (European Commission, 2016).

	Endurkomutími í árum		
	Miklar líkur	**Meðallíkur**	**Litlar líkur**
Austurríki	30	100	300
Belgía	10	25–50, 100	100–1000
Bretland	10–30	100–200	1000
Danmörk	20	100	1000
Finnland	50	100	1000
Frakkland	10–30	100–300	1000
Holland	10	100	1000
Ítalía	30	100–200	300–500
Svíþjóð	50	100	10000
Tékkland	20	100	500
Þýskaland	10, 20, 25, 30	100	200, 1000

Í sumum tilfellum má sjá nokkrar stærðir flóða innan ákveðins flokks, sjá t.d. endurkomutíma flóða í Þýskalandi í flokknum „miklar líkur“ (töflu 3) en þar getur verið munur á milli sambandslanda. Hæsta gildi í flokknum litlar líkur má sjá í Svíþjóð en það virðist einungis vera notað í tengslum við stíflur vatnsaflsvirkjana (Norén o.fl., 2016).

Notast er við svipað mat á stærð flóða í ýmsum öðrum löndum og sjá má í töflu 3, til að mynda í Noregi. Þar er miðað við að greina sjö flóðastærðir með mismunandi endurkomutíma; 10, 20, 50, 100, 200, 500 og 1000 ár en aðeins hluti þeirra er kortlagður (NVE, 2022). Þannig er miðað við kortlagningu flóðasvæða (no. *flomsoner*) sem sýna útbreiðslu og dýpi 20, 200 og 1000 ára flóðs. Á þeim stöðum þar sem vænta má a.m.k. 20% aukins rennslis vegna loftslagsbreytinga, eru flóðasvæði 200 ára flóðs einnig kortlögð í framtíðarsviðsmynd ársins 2100 (Eikenæs o.fl., 2020; NVE, 2022). Í Bandaríkjunum skal samkvæmt FEMA, almannavörnum Bandaríkjanna (e. *Federal Emergency Management Agency*), kortleggja mörk mögulegra flóðasvæða (e. *floodplain boundaries*) út frá 100 ára flóði, sem og mörk 500 ára flóðs ef stærð þess hefur verið áætluð (FEMA, 2020a). Í Kanada er mismunandi á milli ríkja við hvaða endurkomutíma er miðað við kortlagningu flóða, allt frá 20 og upp í 700 ár. Algengast er að miða við flóð með 100 ára endurkomutíma líkt og tíðkast í Bandaríkjunum (Moudrak og Feltmate, 2017; Braden og Simonovic, 2020)

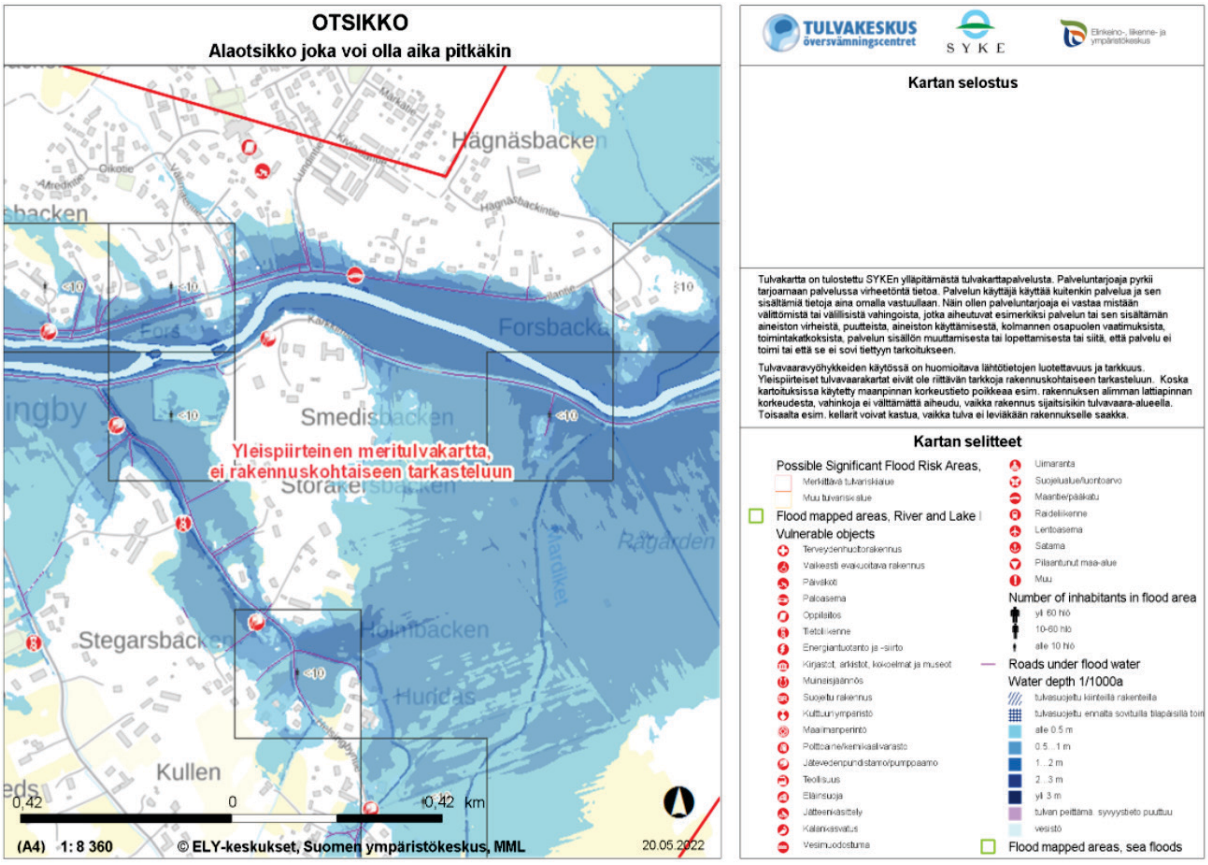
Við mat á tjónmætti og kortlagningu flóðahættu er algengt að horfa til útbreiðslu flóða og samspils vatnsdýpis og straumhraða, sjá frekari umfjöllun í kafla 3.2. Samkvæmt fyrrnefndri samantekt Evrópusambandsins greina flest löndin útbreiðslu og dýpi flóða en um helmingur greinir einnig straumhraða í hættumati (European Commission, 2016).

4.3 Kortlagning áhættu vegna flóða

Meiri munur er á aðferðafræði milli landa við mat á áhættu vegna flóða. Við mat á tjónnæmi og þar með mat á áhættu er misjafnt hvaða upplýsingar eru nýttar, en skv. flóðatilskipuninni (Flóðatilskipun 2007/60/EC) skulu áhættumatskort greina frá fjölda fólks sem og efnahagslegum þáttum sem verða mögulega fyrir áhrifum flóðs með tiltekinn endurkomutíma. Einnig skal birta upplýsingar um staði sem gætu valdið mengunarslysi í flóði, verndarsvæði sem gætu orðið fyrir áhrifum flóða og aðrar upplýsingar s.s. svæði þar sem setflutningur, brak og annað efni er líklegt til þess að valda vandkvæðum í flóðum. Á myndum 9, 10 og 11 má sjá dæmi frá Finnlandi, Svíþjóð og Englandi um kortlagningu flóðaáhættu út frá þeirri aðferðafræði sem fram kemur í flóðatilskipun, en sambærileg kort má finna fyrir mörg önnur lönd Evrópusambandsins. Á mynd 9 sem sýnir dæmi frá Finnlandi má sjá flóð með 1000 ára endurkomutíma, dýpi þess, mat á fjölda fólks og staðsetningu helstu innviða. Á dæminu frá Svíþjóð má sjá tvískipt kort sem sýnir annars vegar flóðahættu þar sem skoða má dýpi og straumhraða fyrir viðmiðunarflóð og hins vegar áhættukort sama viðmiðunarflóðs. Á síðasta kortinu er dæmi frá Englandi þar sem öll viðmiðunarflóð eru sýnd á einu korti en útbúin eru sér kort út frá tjónnæmi. Í þessu tilfelli má sjá efnahagsleg áhrif en á vefsjánni má einnig velja að birta hugsanleg áhrif á fólk og umhverfisleg áhrif (Environment Agency, 2019). Skilgreining áhættu á þessum kortum er út frá viðmiðunarflóðum þar sem flóð með minna en 30 ára endurkomutíma hafa merkinguna miklar líkur (e. *high risk of flooding*) og meðallíkur gildir fyrir útbreiðslu flóða með 30–100 ára endurkomutíma, litlar líkur fyrir flóð með 100–1000 ára endurkomutíma og mjög litlar líkur fyrir flóð með meira en 1000 ára endurkomutíma (Environment Agency, 2018).

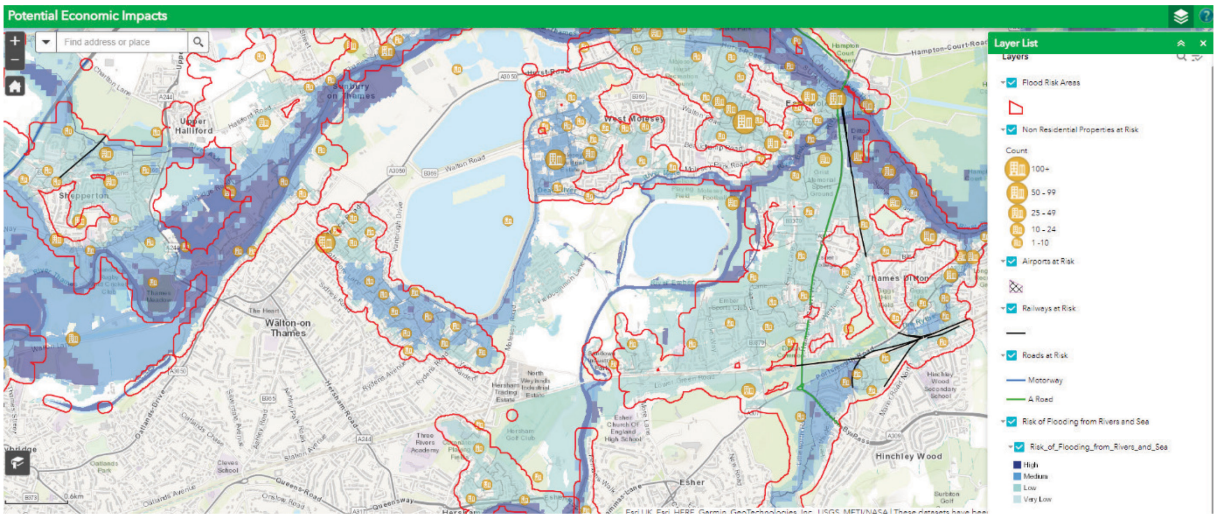
Á þessum þremur dæmum um flóðaáhættukort má sjá svipaða framsetningu þar sem dýpi eða útbreiðsla eins eða fleiri viðmiðunarflóða er kortlögð og ofan á þær niðurstöður eru birtar ýmsar upplýsingar um fjölda fólks, byggingar, innviði og fleira. Þessi greining á áhættu skv. flóðatilskipun er fremur einföld mynd þar sem einungis er tekið fram hversu margt fólk og hvers kyns

efnahags- og umhverfislegir þættir verða mögulega fyrir áhrifum flóða. Í kröfunum er því t.d. ekki ætlast til þess að mat sé lagt á áhættu á dauðsföllum. Fram kemur í fyrrnefndri samantekt Evrópusambandsins að hægt sé að leggja mat á þá áhættu sem heilsufari fólks stafar af flóðum með því að telja þær eignir sem staðsettar eru innan flóðmarka og margfalda með meðalfjölda búsettra á hverju heimili (European Commission, 2016). Þannig fæst áætlaður fjöldi fólks sem verður mögulega fyrir áhrifum flóða en ekki hver eða hversu líkleg áhrifin eru. Í skýrslunni kemur einnig fram hvaða aðferðafræði er beitt til þess að leggja mat á áhættu vegna flóða á mismunandi þætti innan landa Evrópusambandsins. Í viðauka III má finna nokkur dæmi um þau gögn sem eru sýnd á áhættumatskortum og í sumum tilfellum þá aðferðafræði sem beitt er við mat á áhættu vegna flóða á heilsufar fólks og efnahagslega þætti. Upplýsingar frá fleiri löndum sem og frekari upplýsingar um aðferðafræði við mat á áhrifum á menningarminjar, verndarsvæði og iðnaðarmannvirki (e. *industrial installations*) má finna í þessari fyrrnefndu samantektarskýrslu.



Mynd 9. Dæmi frá Finnlandi um kortlagningu áhættu vegna flóða. Skjáskot af vefsíðu finnsku flóðakortaþjónustunnar (SYKE, á.á.).

Mynd 10. Dæmi frá Svíþjóð um kortlagningu áhættu vegna flóða. Skjáskot af vefsíðu sænsku flóðakortaþjónustunnar (MSB, á.á.). Efra kortið sýnir kortlagningu á flóðahættu í Gautaborg en það neðra sýnir kortlagningu áhættu vegna flóða.



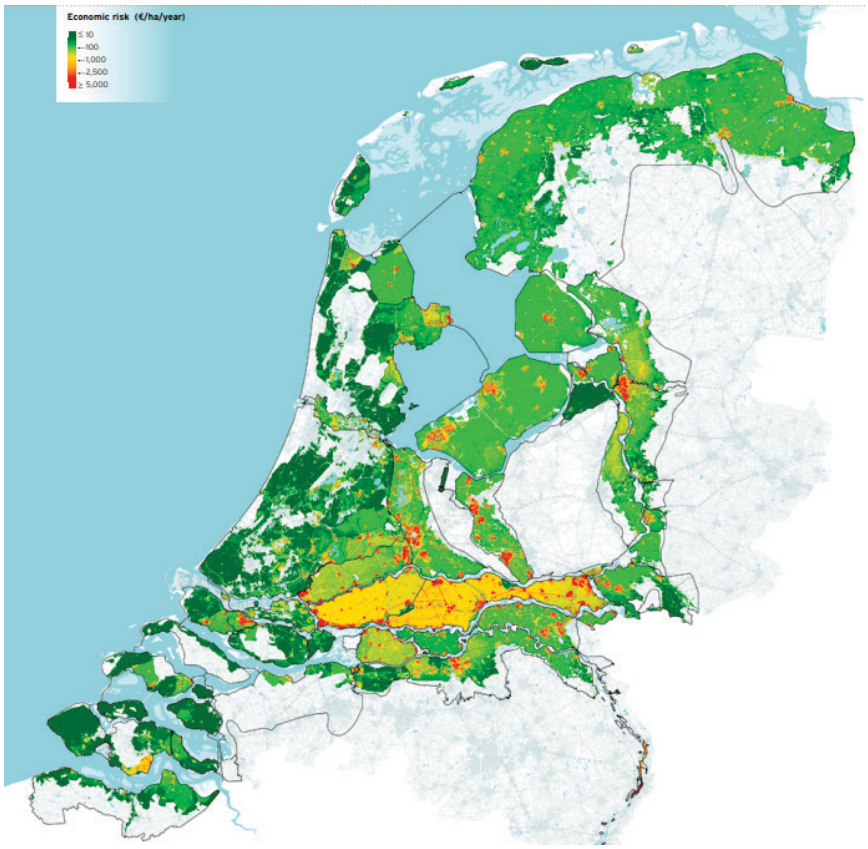
Mynd 11. Dæmi frá Englandi um kortlagningu áhættu vegna flóða. Skjáskot af vefsíðu frá Umhverfisstofnun Englands (Environment Agency, 2019).

Í Bandaríkjunum er áhættumat unnið út frá sambandi milli vatnsdýpis og tjóns á mannvirkjum eða byggingum þar sem einnig er tekið tillit til innbús og birgða (FEMA, 2018). Samkvæmt stöðlum um áhættumat vegna flóða sem gefnir eru út af FEMA, skal framkvæma straumfræðilega líkanreikninga fyrir flóð með 10, 25, 50, 100 og 500 ára endurkomutíma í öllum nýjum verkefnum um flóðaáhættu. Lagt er mat á efnahagslegt tjón í hverju viðmiðunarflóði út frá sambandi dýpis og tjóns og út frá því reiknað mögulegt árlegt tjón af völdum flóða. Dæmi um kortlagningu áhættu út frá árlegu tjóni af völdum flóða má sjá á mynd 12. Flóðaáhættan er ýmist metin í reitum (e. *census blocks*) eða fyrir mannvirki. Flóðaáhættunni er ætlað að greina efnahagsleg áhrif flóða með því markmiði að lágmarka áhættu og auka líkur á að gripið verði til viðeigandi mótvægisaðgerða (FEMA, 2018).

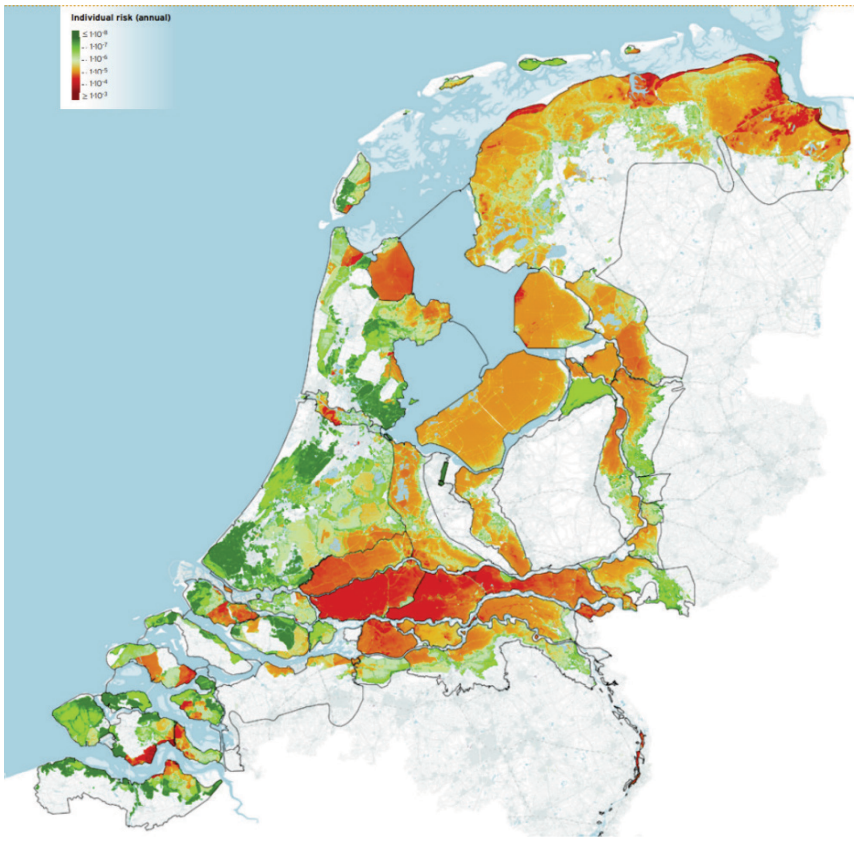
Mynd 12. Dæmi frá FEMA um kortlagningu flóðaáhættu (FEMA, 2018). Flóðaáhættan er ýmist metin í reitum (til vinstri) eða fyrir mannvirki (til hægri).

Í Hollandi er flóðaáhættu gerð góð skil. Holland býr við sérstakar aðstæður að þessu leyti og er raunar varið af u.þ.b. 3500 km af flóðvörnum. Áhættumat vegna flóða er því unnið út frá líkum á því að flóðvarnargarðar rofni og lýtur þar með öðrum lögmálum en víðast hvar annars staðar. Í Hollandi hefur áhætta vegna flóða verið kortlögð með mati á efnahagslegu tjóni og einstaklingsáhættu. Einnig er samfélagsleg áhætta metin með F/N gröfum fyrir allt kerfi flóðvarnargarðanna. Áætlað efnahagslegt tjón á ári er nýtt í kostnaðar- og ávinningsgreiningu þar sem kostnaður við

flóðvarnir er borinn saman við minnkaða áhættu með tilkomu flóðvarna. Sjá má kortlagningu efnahagslegrar áhættu vegna flóða í Hollandi á mynd 13. Einstaklingsáhætta er kortlögð sem árlegar líkur á því að manneskja farist af völdum flóða á tilteknum stað að teknu tilliti til möguleika á rýmingu (e. *preventive evacuation*), sjá mynd 14 (Vergouwe, 2016).



Mynd 13. Kortlagning efnahagslegrar áhættu vegna flóða í Hollandi, gefið upp í evrum á ári (Vergouwe, 2016).



Mynd 14. Kortlagning einstaklingsáhættu vegna flóða í Hollandi, gefið upp sem árlegar líkur á því að manneskja farist af völdum flóða á tilteknum stað að teknu tilliti til möguleika á rýmingu (Vergouwe, 2016).

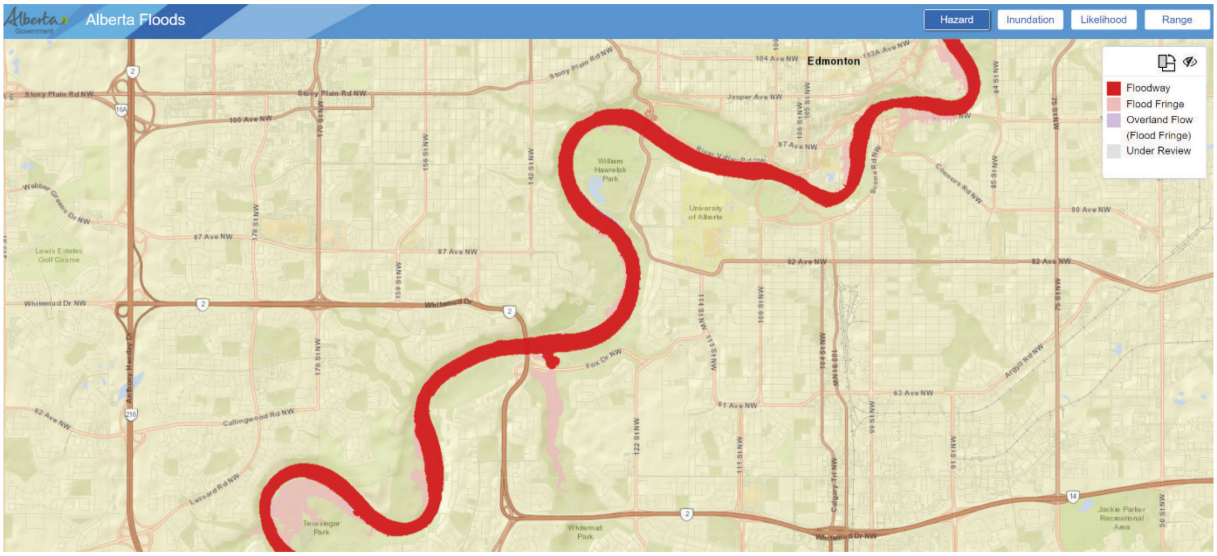
4.4 Hagnýting hættu- og áhættumats flóða

Hér að framan hefur verið farið yfir dæmi um það hvaða þættir eru kortlagðir við mat á hættu og áhættu vegna flóða. Sameiginlegt markmið með þess háttar kortlagningu er m.a. að vekja athygli á flóðahættu og -áhættu og ýta undir aðgerðir til þess að bregðast við með viðeigandi hætti. Önnur hagnýting kortanna og þeirra gagna sem þar eru birt er hins vegar ólík á milli landa. Hættu- og áhættumat vegna flóða er öflugt verkfæri til þess að styðja við upplýsta ákvarðanatöku við uppbyggingu lands sem kann að vera útsett fyrir flóðum. Því er mikilvægt að hættu- og áhættumat vegna flóða hafi ákveðið vægi í lögum og reglugerðum, einkum í skipulagsáætlunum. Hér er farið stuttlega yfir mismunandi hagnýtingu hættu- og áhættumats flóða, annars vegar út frá mismunandi notkun á flóðasvæðum í svæðisbundinni nálgun og hins vegar út frá skiptingu í hæg- og hraðvaxandi flóð.

4.4.1 Svæðisbundin nálgun

Í Bandaríkjunum og Kanada er gjarnan miðað við einfalda notkun flóðasvæða sem skiptast upp í annars vegar ársléttur (e. *floodway*) þar sem áin rennur alla jafna og hins vegar flóðjaðra (e. *flood fringe*). Tilgangur þessarar svæðaskiptingar er að aðstoða samfélög við að finna jafnvægi á milli uppbyggingar innan flóðsléttu og hættunnar sem því kann að fylgja (FEMA, 2020b). Saman mynda árslétturnar og flóðjaðrar flóðsléttur (e. *floodplain*), sjá mynd 15. Árslétturnar mynda þann hluta flóðahættusvæðis þar sem flóðvatn er dýpst og fer hraðast yfir og er því sá hluti svæðisins sem er talinn hættulegastur og með mesta tjónmættið. Flóðjaðrar eru sá hluti flóðaslétta sem falla ekki

undir árslétt og einkennast af grunnu og hægfara flóðvatni. Í Bandaríkjunum er notast við einskonar flóðatryggingaráætlun (e. *National Flood Insurance Program*) sem er stjórnað af FEMA. Innan þessarar áætlunar er skilgreint að svonefnt grunnflóð (e. *base flood*) skuli rúmast innan árslétta án þess að flóðahæð hækki um ákveðna hæð sem í flestum tilfellum er eitt fet eða 30,5 cm. Grunnflóðið er almennt skilgreint sem flóð með 100 ára endurkomutíma. Byggingar og uppbygging mannvirkja eru ekki leyfð á árslléttum nema með ströngum takmörkunum. Ef uppbygging er leyfð er það með þeim skilyrðum að sýnt sé fram á með vatna- og straumfræðilegum reikningum að tilteknar framkvæmdir muni ekki hækka hæð grunnflóðsins (FEMA, 2020b). Uppbygging innan flóðjaðra er hins vegar oftast leyfð en krefst greiningar á flóðvörnum og lágmarks gólfhæð. Þessar reglur hafa lagaleg viðmið en ekki kortlagning flóðaáhættu líkt og fjallað var um í kafla 4.3. Samkvæmt FEMA (FEMA, á.á.) flokkast kortlagning flóðaáhættu sem afurð utan reglugerðar (e. *non-regulatory product*). Í Kanada er notast við svipað kerfi flóðasvæða, en breytilegt er á milli ríkja hvernig árslétt og flóðjaðrar eru skilgreindir og hefur því reynst erfitt að skipuleggja flóðastjórnun í Kanada. Kallað hefur verið eftir einni skilgreiningu á þessum hugtökum sem gæti auðveldað ákvarðanatöku um leyfilega landnotkun fyrir uppbyggingu í Kanada (Moudrak og Feltmate, 2017). Sjá má dæmi um kortlagningu flóðasvæða, árslétta og flóðjaðra á mynd 15 (FloodSmart Canada, 2019).

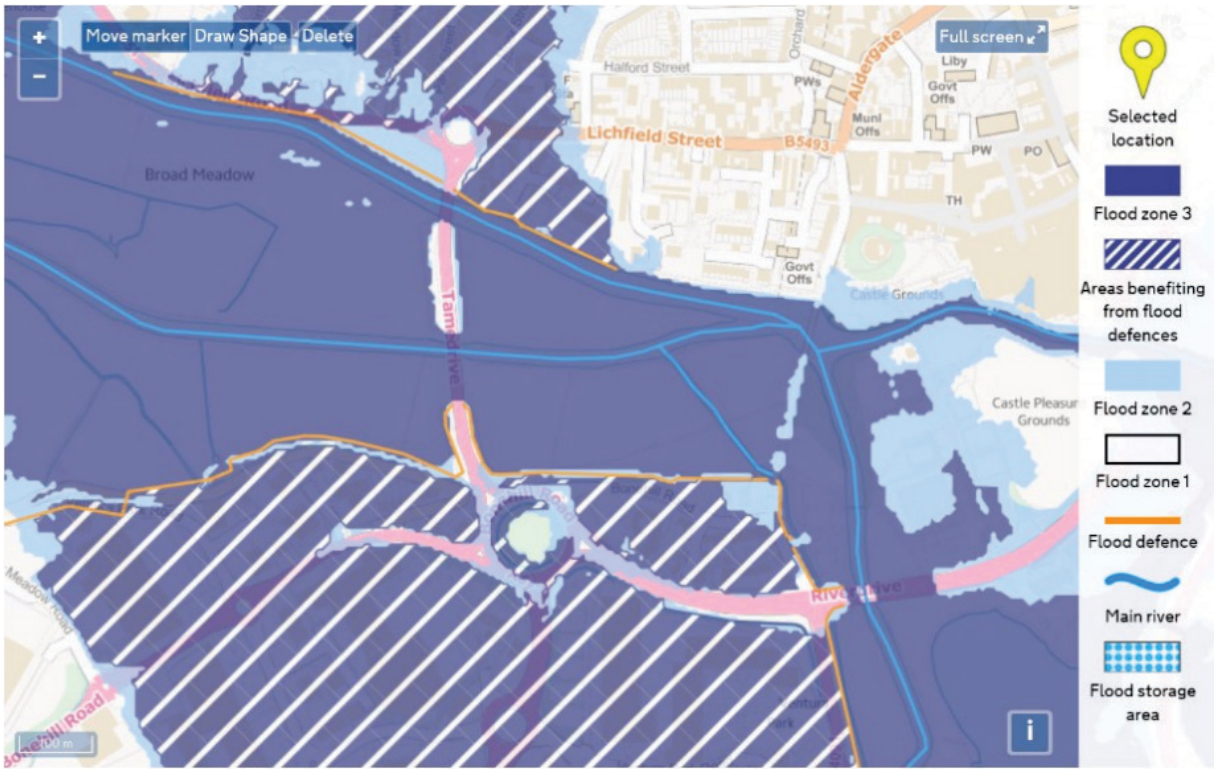


Mynd 15. Dæmi um flóðasvæðin árslétt (e. floodway) og flóðjaðra (e. flood fringe). Skjáskot af flóðavefsjá Alberta í Kanada (Alberta Government, á.á.).

Annað dæmi um hagnýtingu flóðahættumats með svæðisbundinni nálgun má sjá á Englandi. Á landsvísu er til áætlun stjórnvalda um flóðahættustjórnun á Englandi, sem enska Umhverfisstofnunin (e. *Environment Agency*) hefur umsjón með. Þessi áætlun nær til helstu vatnsfalla, uppistöðulóna, árósa og til sjávar. Ríkisstjórnin setur Umhverfisstofnun rannsóknar- og vöktunarmarkmið sem fela m.a. í sér flóðaviðvaranir og gerð viðbragðsáætlana sem og að koma í veg fyrir óviðeigandi uppbyggingu á flóðasvæðum (Environment Agency, 2009). Á Englandi er flóðahætta þannig falin í skipulagsferli sem þýðir að skipulagsumsóknir og -breytingar verða að gera grein fyrir flóðahættu þar sem við á (Department for Communities and Local Government, 2009). Þrjár gerðir flóðasvæða hafa verið skilgreindar, sjá töflu 4, í samræmi við upplýsingar um kortlagningu flóðahættu á Englandi í kafla 4.2, sjá mynd 16.

Tafla 4. Skilgreining flóðasvæða á Englandi (HM Government, 2014).

Númer	Flóðasvæði	Skilgreining
1	Litlar líkur	Endurkomutími flóða á þessu landi er umfram 1000 ár, allt land utan svæða 2 og 3.
2	Meðal líkur	Endurkomutími flóða á þessu landi er á milli 100 og 1000 ár.
3a	Miklar líkur	Endurkomutími flóða á þessu landi er 100 ár eða skemmri.
3b	Virkar flóðsléttur	Svæði sem flóð fer um eða virkar sem geymsla fyrir flóðvatn.



Mynd 16. Dæmi um kortlagningu flóðasvæða fyrir skipulagsáætlanir í Englandi (Environment Agency, 2018).

Landsskipulagsstefna ensku ríkisstjórnarinnar (e. *National Planning Policy*, NPPF) ásamt viðeigandi leiðbeiningum frá yfirvöldum um áhættu vegna flóða leggja fram viðmiðunarmörk til varnar mannvirkjum sem gert er ráð fyrir að svæðisskipulag uppfylli. Þessi viðmiðunarmörk eða próf eru hönnuð til þess að tryggja uppbyggingu svæða þar sem litlar líkur eru á flóðum (flóðasvæði 1) fremur en á svæðum þar sem líkur á flóðum eru meiri (svæði 2 og 3). Í þeim tilfellum þar sem engin tiltæk svæði sem þykja bærileg (e. *no reasonably available sites*) finnast innan flóðasvæðis 1, geta yfirvöld svæðisskipulags nýtt tjónnæmi landnotkunar og svokallað undanþágupróf ef nauðsyn krefur til þess að nýta bærilega staði innan flóðasvæðis 2. Sama á við um flóðasvæði 3 þar sem nota skal tjónnæmi landnotkunar og mögulega undanþágupróf ef taka skal staði til skoðunar fyrir skipulag og einungis ef engir staðir þykja bærilegir innan flóðasvæða 1 og 2. Tjónnæmi landnotkunar hefur þegar verið skilgreint og má sjá lýsingu á hverjum flokki í töflu 5.

Tafla 5. Lýsing á tjónnæmisflokkum sem notaðir eru í skipulagsáætlunum í Englandi (HM Government, 2021).

Flokkar tjónnæmis	Lýsing á helstu þáttum.
Nauðsynlegir innviðir	Til dæmis nauðsynlegir samgönguinnviðir s.s. vegna rýmingar, nauðsynlegir innviðir sem þurfa að vera staðsettir á áhættusvæði flóða vegna starfsemi sinnar s.s. framleiðsla og dreifing rafmagns.
Mjög mikið tjónnæmi	Til dæmis húsnæði viðbragðsaðila sem þarf að vera opið á meðan á flóði stendur s.s. lögreglustöð og slökkviliðsstöð eða almennt húsnæði í kjallara o.fl.
Mikið tjónnæmi	Til dæmis sjúkrahús og stofnanir með viðkvæmum hópum s.s. leikskólar og dvalarheimili aldraðra.
Minna tjónnæmi	Til dæmis byggingar fyrir verslanir og þjónustu, veitingastaðir, bílastæði.
Jafngildir vatni	Til dæmis innviðir tengdir flóðvörnum og vatnstengd afþreying (án gistimöguleika).

Samband milli flóðasvæða og leyfilegrar uppbyggingar má sjá í töflu 6. Til þess að standast undanþáguprófið skal (1) sýna fram á að viðkomandi uppbyggingu fylgi víðtækur ávinningur fyrir sjálfbærni samfélagsins sem yfirvinnur áhættuna sem fylgir flóðum og (2) sýna fram á með staðbundnu flóðaáhættumati að uppbyggingin verði örugg á sínum líftíma að teknu tilliti til tjónnæmis, án þess að auka flóðaáhættu annars staðar og með því að lækka heildaráhættu vegna flóða þar sem það er mögulegt. Bæði skilyrði þarf að uppfylla til þess að uppbygging sé leyfð (Smith og Priestley, 2016).

Tafla 6. Samband milli flóðasvæða í Englandi og leyfilegrar uppbyggingar út frá tjónnæmi (HM Government, 2014).

Númer flóðasvæðis	Tjónnæmisflokkar				
	Nauðsynlegir innviðir	Mjög mikið tjónnæmi	Mikið tjónnæmi	Minna tjónnæmi	Jafngildir vatni
1	√	√	√	√	√
2	√	Undanþágupróf	√	√	√
3a	Undanþágupróf	x	Undanþágupróf	√	√
3b	Undanþágupróf	x	x	x	√

√ = Uppbygging er heimil, x = Uppbygging er óheimil

Heildarmarkmið með þessu kerfi er að skipulagsyfirvöld taki tillit til flóðaáhættu í skipulagsáætlunum og ákvarðanatöku, færi uppbyggingu frá meiri áhættu yfir á áhættuminni svæði, að uppbygging á flóðasvæðum 2 og 3 sé örugg þar sem hún er nauðsynleg og auki ekki flóðaáhættu annars staðar, og að leitað sé leiða til þess að draga úr áhrifum flóða (HM Government, 2014).

4.4.2 Nálgun byggð á vaxtarhraða flóða

Eftir hamfaraflóð í Noregi árið 1995 var lögð fram stefna sem hefur fengið hlutverk aðgerðaráætlunar til þess að draga úr afleiðingum flóða (NOU, 1996). Í stefnunni segir að mikilvægasta aðgerð til þess að draga úr afleiðingum flóða sé að bæta skipulagsmál á stöðum sem eru útsettir fyrir flóðum. Eftir flóðin árið 1995 setti norska vatna-og orkumálastofnunin (NVE) af stað bráðabirgðakortlagningu flóða í Noregi þar sem staðaryfirvöld um allt land voru beðin um að lýsa og sýna á kortum staði sem orðið höfðu fyrir flóðum. Út frá þeim upplýsingum voru staðirnir metnir með tilliti til hugsanlegs efnahagslegs tjóns. Sett var upp plan fyrir straumfræðilega líkangerð og kortlagningu á þeim stöðum sem þóttu mest útsettir fyrir flóðum. Í kjölfarið var ákveðið að greina á milli tveggja gerða flóða sem valda mismunandi hættu, annars vegar hraðvaxandi flóð þar sem mikil hætta er á dauðsföllum og hins vegar hægvaxandi flóð þar sem hætta er á efnahagslegu tjóni en lítil hætta á dauðsföllum, sjá mynd 17. Í síðarnefnda tilfellinu hækkar vatnshæðin hægt svo nægur tími gefst til rýmingar og fólki stendur því lítil hætta af flóðinu. Hraðvaxandi flóð einkennast hins vegar af hröðum vexti rennslis og getur flokkunin einnig átt við aðra vá s.s. aurskriður (Berg, 2005).

Mynd 17. Tvær gerðir flóða, til vinstri má sjá hraðvaxandi flóð með mögulegri hættu á dauðaslysum og til hægri hægvaxandi flóð með hættu á efnahagslegu tjóni (Berg, 2005).

Tillaga að svokölluðum áhættuviðmiðum var sett fram sem endurkomutími þessara mismunandi flóðagerða og má sjá í töflu 8. Sett voru hærri viðmið, þ.e.a.s. miðað við flóð með lengri endurkomutíma fyrir hraðvaxandi flóð heldur en þau sem vaxa hægt, sjá töflu 7 (Berg, 2005).

Tafla 7. Eldri tillaga að áhættuviðmiðum fyrir hægvaxandi (hætta á efnahagslegu tjóni) og hraðvaxandi (hætta á dauðsföllum) flóð og mismunandi gerðir bygginga og innviða (Berg, 2005).

Gerð mannvirkja/innviða	Gerð flóðs (endurkomutími í árum)	
	Hraðvaxandi	Hægvaxandi
Bílskýli/skemma	1/100	1/50
Íbúðarhús, þjóðvegir*	1/1000	1/100
Skólar, sjúkrahús, mjög mikilvægir innviðir	< 1/1000	< 1/200

**Hér er átt við þjóðvegi sem eru ekki eini mögulegi vegurinn til þess að komast leiðar sinnar.*

Í aðferðafræðinni var einnig fjallað um mögulega uppbyggingu innan tilgreindra flóðasvæða. Þar var lagt til að setja ákveðin viðmiðunarmörk ef til uppbyggingar kæmi innan þeirra svæða sem getið er í töflu 7, annars vegar þar sem uppbygging kæmi ekki til greina og hins vegar uppbygging með verndaraðgerðum. Verndaraðgerðir gætu t.d. verið vegir, varnargarðar eða önnur hönnun til þess að koma í veg fyrir tjón, sjá töflu 8 (Fergus og Berg, 2008).

Tafla 8. Eldri tillaga að takmörkun uppbyggingar innan flóðasvæða út frá upplýsingum um straumhraða og dýpi (Fergus og Berg, 2008).

Hætta	**Áhrif á uppbyggingu**
Mikil hætta Dýpi > 1,5 m eða hraði × dýpi > 1,5 m²/s	Engin uppbygging heimil.
Lítil hætta Dýpi < 1,5 m eða hraði × dýpi < 1,5 m²/s	Uppbygging gæti verið heimil ef varnaraðgerðir vernda fólk og draga úr líkum á tjóni. Tjón á bílskúrum er samþykkt ef árlegar líkur á tjóni er minna en 1/20.

Þessar tillögur hafa að miklu leyti verið teknar inn í núverandi byggingarreglugerð í Noregi (TEK17, 2017). Þar kemur fram að byggingar þar sem afleiðingar flóða eru sérstaklega miklar skulu ekki vera staðsettar á flóðasvæðum (sjá umfjöllun um kortlögð flóðasvæði í Noregi í kafla 4.2). Þetta gildir t.d. um byggingar sem hafa lands- eða svæðisbundið vægi fyrir viðbúnað og hættustjórnun, svo sem fjórðungssjúkrahús og stofnanir sem stýra viðbúnaði. Fyrir byggingar á flóðasvæðum skal hins vegar skilgreina öryggisflokk (no. *sikkerhetsklasse*) samkvæmt töflu 9. Byggingar skal staðsetja, hanna eða verja gegn flóðum þannig að ekki sé farið umfram mestu árlegu líkur í töflunni. Í reglugerðinni er tekið fram að viðmiðunarmörk í töflu 9 gildi fyrir hægvaxandi flóð en ef líf fólks er talið í hættu skal notast við viðmiðunarmörk fyrir byggingar á skriðusvæðum, sjá töflu 10.

Innan reglugerðarinnar er bent á að hægt sé að mæta öryggiskröfunum með því að (a) koma mannvirkinu fyrir utan flóðasvæðis sem reglugerðin skilgreinir sem lágmarkskröfur, (b) með því að tryggja mannvirkið gegn flóðum með vörnum eða varnaraðgerðum eða (c) hanna mannvirkið á þann veg að það þoli álag og hægt sé að forðast tjón. Fyrsti kosturinn er sá einfaldasti og mælt er með því að velja hann þar sem því verður viðkomið. Sú krafa er gerð að sá kostur sem er valinn er þurfi að minnka líkur á flóði eða koma afleiðingum flóðs á það stig sem miðað er við í töflum 9 og 10. Dæmi um varnaraðgerðir sem hægt er að beita er að hækka byggingarreitinn eða setja gólfkóta, byggja án kjallara eða reisa varnarmannvirki sem verja byggingarnar.

Tafla 9. Viðmiðunarmörk fyrir byggingar á flóðasvæðum (TEK17, 2017, kafli §7-2).

Öryggisflokkur	Afleiðingar	Mestu árlegu líkur á flóði
F1	Litlar	1/20
F2	Meðal	1/200
F3	Miklar	1/1000

Tafla 10. Viðmiðunarmörk fyrir byggingar á skriðusvæðum (TEK17, 2017, kafli §7-3).

Öryggisflokkur	Afleiðingar	Mestu árlegu líkur á flóði
S1	Litlar	1/100
S2	Meðal	1/1000
S3	Miklar	1/5000

Öryggisflokkarnir eru skilgreindir fyrir ólíkar stærðir flóða. Við skilgreiningu á öryggisflokki byggingar þarf að taka mið af afleiðingum flóða sem aftur er háð tilgangi eða gerð byggingar og kostnaði við tjón á henni. Öryggisflokkur F1 nær til bygginga með lítilli viðveru og þar sem tjón hefur litlar fjárhagslegar eða félagslegar afleiðingar. Dæmi um byggingar í þessum öryggisflokki eru bílskúrar og vöruskemmur. Öryggisflokkur F2 nær yfir flestar byggingar sem ætlaðar eru til einkanota, s.s. íbúðarhúsnæði, sumarbústaðir, tjaldstæði, skólar, leikskólar og atvinnuhúsnæði. Að auki er tilgreint að á svæðum þar sem flóðvatn er djúpt eða straumhart, eigi að miða við öryggisflokk F3. Þetta á við um svæði þar sem dýpi er meira en 2 metrar og þar sem margfeldi dýpis og straumhraða er meira en 2 m^2/s. Öryggisflokkur F3 nær til bygginga fyrir viðkvæma samfélagslega starfsemi og þar sem flóð geta valdið mikilli mengun í umhverfinu. Byggingar í þessum flokki geta verið hjúkrunarheimili og byggingar sem gegna hlutverki í neyðartilvikum s.s. sjúkrahús, slökkvistöðvar, almannavarnir o.s.frv. Ef einhverjar þessara bygginga hafa lands- eða svæðisbundið vægi í viðbúnaði og neyðarvörnum þá gildir sem fyrr segir að þær skuli staðsettar utan flóðasvæða (TEK17, 2017, kafli 7-2).

Öryggisflokkar fyrir byggingar á skriðusvæðum (S1–S3) eru skilgreindir á svipaðan hátt. Þó er tekið fram að öryggiskröfur í flokkunum þremur byggja á þeirri forsendu að gæta þurfi öryggis bæði hvað varðar mannslíf og efnisleg verðmæti, öfugt við flokkana F1–F3 sem byggja einungis á afleiðingum flóða fyrir byggingar út frá tilgangi þeirra og kostnaði við tjón. S1 er skilgreint á svipaðan hátt og F1, þ.e. fyrir byggingar með lítilli viðveru. Fyrir öryggisflokk S2 er miðað við byggingar þar sem búa að hámarki 25 manns, s.s. einbýli, tvíbýli og raðhús en byggingar þar sem gerðar er meiri kröfur úr frá sjónarmiðum um persónuöryggi falla í flokk S3, t.d. hjúkrunarheimili, skólar og leikskólar. Fram kemur að fyrir byggingar sem falla í öryggisflokk S2 má lækka öryggiskröfu fyrir tilheyrandi útisvæði niður í S1 þar sem hættan fyrir líf og heilsu er talin að jafnaði minni utanhúss. Sama á við um útisvæði við byggingar sem falla í flokk S3, þar kemur til greina að lækka öryggiskröfuna niður í S2 ef gætt er að viðveru, fjölda fólks sem dvelur á útisvæðinu o.fl., sjá frekari upplýsingar innan byggingarreglugerðar TEK17 (2017, kafli 7-3).

4.5 Samantekt

Í kaflanum hefur verið farið í stuttu máli yfir hættu- og áhættumat vegna flóða í nokkrum löndum innan Evrópusambandsins og í Noregi, Bandaríkjunum og Kanada. Er þessari lýsingu ætlað að veita yfirsýn yfir þá aðferðafræði og viðmið sem eru nýtt innan þeirra landa sem Ísland ber sig gjarnan saman við. Skipta má umfjölluninni í tvennt, annars vegar eftir aðferðafræði og hins vegar

hagnýtingu. Varðandi aðferðafræði er hættumat vegna flóða orðið vel skilgreint og að því er virðist lítill breytileiki á milli landa í framsetningu þess. Val á viðmiðunarflóðum er svipað á milli landa og í sumum tilvikum er nú þegar farið að taka tillit til áhrifa loftslagsbreytinga á viðmiðunarflóð, s.s. í Svíþjóð og Noregi. Varðandi áhættu þá virðist tíðkast að kortleggja hættu og birta það sem í húfi er innan flóðmarka tiltekinna viðmiðunarflóða og kalla það flóðaáhættukort. Dæmi um upplýsingar sem eru birtar ásamt flóðahættunni eru upplýsingar um fjölda íbúa, hvers kyns efnahags- og umhverfislegir þættir, menningarminjar, verndarsvæði og iðnaðarmannvirki. Á þessum kortum er eiginleg áhætta ekki reiknuð.

Hagnýting hættu- og áhættumats flóða snýr einkum að því að beita skipulagsáætlunum til þess að lágmarka áhættu af völdum flóða, enda er bætt skipulag og landnotkun á svæðum sem eru berskjölduð fyrir flóðum ein mikilvægasta aðgerðin til þess að takmarka tjón vegna flóða. Fjallað var um takmörkun uppbyggingar innan flóðasvæða í Bandaríkjunum og Kanada sem byggist nær einungis á skilgreiningu tveggja flóðasvæða; árslettu og flóðjaðra. Annað dæmi um beitingu reglna í skipulagi til þess að koma í veg fyrir uppbyggingu á flóðasvæðum má finna á Englandi. Þar er reynt að tryggja uppbyggingu svæða þar sem litlar líkur eru á flóðum (flóðasvæði 1) fremur en á svæðum þar sem líkur á flóðum eru meiri (svæði 2 og 3). Til viðbótar eru tjónnæmisflokkar skilgreindir og samband milli flóðasvæða og leyfilegrar uppbyggingar út frá tjónnæmi sett fram. Þessari aðferðafræði svipar til þess sem beitt er í Noregi nema hvað þar er einnig greint á milli hæg- og hraðvaxandi flóða. Skilgreindir eru öryggisflokkar fyrir bæði hæg- og hraðvaxandi flóð þar sem tekið er mið af afleiðingum flóða, tilgangi eða gerð byggingar og kostnaði við tjón á henni. Allar aðferðirnar eiga það sammerkt að miða að því að lágmarka áhættu eins og kostur er.

5 Viðbúnaður vegna flóða á Íslandi

Áhættumat vegna flóða er fremur skammt á veg komið hérlendis. Til þess að unnt sé að skapa ramma um hættu- og áhættumat vegna flóða er nauðsynlegt að átta sig á hlutverki yfirvalda og mismunandi stofnana í þessu samhengi. Miklu máli skiptir að reglur og ferli séu skýr svo allir hlutaðeigandi aðilar þekki sitt hlutverk og hættu- og áhættumatsferlið sé unnið með sambærilegum hætti og niðurstöðurnar nýtist öllum þeim sem þurfa á þeim að halda, s.s. skipulagsyfirvöldum, sveitarfélögum og almannavarnadeild ríkislögreglustjóra. Í þessum kafla er fjallað um hlutverk ríkis, sveitarfélaga og mismunandi stofnana gagnvart flóðavá, kostnaðarskiptingu og snertifleti við skipulagsmál. Einnig er fjallað stuttlega um flóðavá í samhengi við loftslagsbreytingar og möguleika til þess að draga úr flóðum og áhrifum þeirra í hönnun og skipulagi.

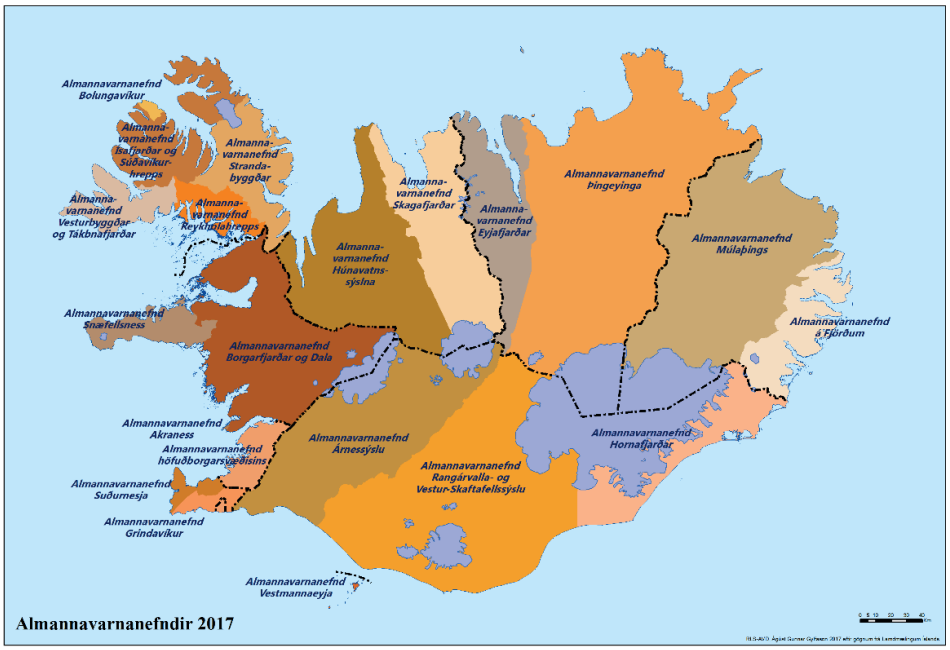
5.1 Hlutverk og ábyrgð

Það kemur í hlut stjórnvalda að setja reglur og viðmið fyrir áhættu vegna flóða. Stefna stjórnvalda í almannavarna- og öryggismálum var gefin út í mars 2021. Þar er megináhersla lögð á að grunnskipulag almannavarna verði eflt í löggjöf og í framkvæmd með heildarendurskoðun laga um almannavarnir, áhættuskoðun, reglubundinni rýni eftir atburði o.fl. (Almannavarna- og öryggismálaráð, 2021). Ísland hefur um margt sérstaka stjórnsýsluuppbyggingu miðað við aðrar þjóðir. Hérlendis eru stjórnsýslustigin tvö: Ríkið annars vegar og sveitarfélögin hins vegar. Í þessu greinum við okkur frá flestum löndum Evrópu sem hafa mörg hver millistjórnsýslustig. Umhverfis-, orku- og loftslagsráðuneytið gegnir veigamiklu hlutverki varðandi náttúruvá en undir það heyra m.a. mat á hættu vegna náttúruvár ásamt mótvægisaðgerðum og mat á umhverfisáhrifum, loftslagsmál og umhverfisvöktun. Almannavarnadeild ríkislögreglustjóra heyrir hins vegar undir dómsmálaráðuneytið og fjármálaþátturinn, þ.m.t. tryggingar, undir fjármála- og efnahagsráðuneytið. Skipulagslög og þar með landsskipulag falla svo undir innviðaráðuneyti.

Sveitarfélög gegna mikilvægu hlutverki í hættumati á náttúruvá þar sem þau eru handhafar framkvæmdavaldsins og fara með staðbundna stjórnsýslu (samgöngu- og sveitarstjórnarráðuneytið, 2017). Ramminn utan um starfsemi þeirra er settur af Alþingi en þeim er skylt að annast þau verkefni sem þeim eru falin í lögum skv. 7. gr. sveitastjórnarlaga (nr. 138/2011). Ekki eru til staðar nein lög sem kveða á um skyldur sveitarfélaga til þess að láta meta hættu á vatnsflóðum líkt og til eru fyrir ofanflóð. Í lögum um varnir gegn snjóflóðum og skriðuföllum (nr. 49/1997) segir að „*Sveitarstjórnir í sveitarfélögum þar sem ofanflóð hafa fallið á byggð eða nærri henni eða hætta er talin á slíku skulu láta meta hættu á ofanflóðum*“. Mikilvægt er að sett verði sambærileg lög um hættumat vegna vatnsflóða.

Hlutverk sveitarfélaga varðandi almannavarnir felst að miklu leyti í starfi svonefndra almannavarnanefnda. Í lögum um almannavarnir (nr. 82/2008) segir að sveitarfélög fari með umsjón almannavarna í héraði, í samvinnu við ríkisvaldið og að sveitarstjórn hvers sveitarfélags skuli skipa almannavarnanefnd með lögreglustjóra viðkomandi umdæmis, fulltrúum úr sveitarstjórn ásamt þeim fulltrúum sveitarstjórna sem í starfi sínu sinna verkefnum í þágu öryggis hins almenna borgara. Mörg sveitarfélög hafa sameinast um almannavarnanefnd en 21 nefnd er starfandi í umdæmum landsins, sjá mynd 18 (Almannavarnir, 2017). Í 10. gr sömu laga er tilgreint að almannavarnanefndir vinna í umdæmum sínum að gerð og endurskoðun hættumats og gerð og prófun viðbragðsáætlana í samvinnu við ríkislögreglustjóra. Einnig er fjallað um skyldu ríkisvalds til þess að gera viðbragðsáætlanir, en þar segir að *„Einstök ráðuneyti og undirstofnanir þeirra skulu, í samvinnu við ríkislögreglustjóra, kanna áfallaþol þess hluta íslensks samfélags sem fellur undir starfssvið þeirra*“. Enn fremur er fjallað um verkefni ríkislögreglustjóra á sviði almannavarna þar sem segir að ríkislögreglustjóri skuli hafa „eftirlit með skipulagi almannavarna á landinu öllu og eftirlit með almannavörnum sveitarfélaga. Hann hefur eftirlit með gerð hættumats í samráði við almannavarnanefndir. Hann tekur þátt í undirbúningi og gerð viðbragðsáætlana ríkis og sveitarfélaga“. Gerð hættumats og viðbragðsáætlana vegna náttúruvár skal samkvæmt lögum vera samvinna milli ríkis, einkum með aðkomu ríkislögreglustjóra, og sveitarfélaga, einkum með aðkomu almannavarnanefnda viðkomandi umdæmis.

Hafin er heildarendurskoðun á lögum um almannavarnir sem áætlað er að ljúki 2025. Fyrsti hluti endurskoðunarinnar var samþykktur á alþingi 9. júní 2022 . Þar er m.a. skerpt á hlutverki lögreglustjóra við gerð hættumats og viðbragðsáætlana og lagt til að lögreglustjóri fái það hlutverk ásamt sveitarfélögum í samvinnu við ríkislögreglustjóra að kanna áfallaþol í umdæmi sínu. Einnig skal hann ásamt almannavarnanefnd í samvinnu við ríkislögreglustjóra gera viðbragðsáætlun í samræmi við hættumat í umdæmi þeirra (Lög um breytingar á lögum um almannavarnir 82/2008, þingskjal 1193).



Mynd 18. Yfirlit yfir almannavarnanefndir í öllum umdæmum landsins (Almannavarnir, 2017).

Þeir opinberu aðilar sem helst koma að hættu- og áhættumati vegna flóða eru Veðurstofa Íslands og almannavarnadeild ríkislögreglustjóra. Samkvæmt lögum um Veðurstofu Íslands (nr. 70/2008) skulu verkefni Veðurstofu Íslands m.a. felast í að vinna hættumat vegna náttúruhamfara að beiðni almannavarnayfirvalda eða annarra stjórnvalda. Veðurstofan skal einnig, samkvæmt lögum, annast vöktun vegna náttúruvár og gefa út viðvaranir og spár um yfirvofandi hættu af völdum vatnsflóða. Veðurstofan hefur undanfarna áratugi tengst áhættuumræðu á margvíslegan hátt, enda hafa snjóflóð og hættu- og áhættumat tengt þeim komið inn á flesta þætti í starfi stofnunarinnar. Veðurstofan hefur þannig komið að málum sem þjónustuaðili í upplýsingamiðlun, sérfræði-ráðgjafi, umsjónar- og stýriaðili á fagsviði stofnunarinnar fyrir hönd æðri stjórnvalda og stundað vísindarannsóknir (Trausti Jónsson, 2002). Á síðustu árum hefur enn fremur skapast reynsla við hættumat á öðrum fagsviðum stofnunarinnar, t.a.m. við rannsóknir á jökulhlaupum og eldgosum. Fleiri stofnanir geta komið að hættu- og áhættumati vegna flóða, s.s. Náttúrufræðistofnun Íslands, Umhverfisstofnun, Hafrannsóknastofnun, Háskóli Íslands þ.m.t. Jarðvísindastofnun Háskólans, Náttúruhamfaratrygging Íslands og Skipulagsstofnun.

Þessi skoðun á núverandi stjórnsýslu leiðir í ljós að erfitt er að festa hendur á því hver ber ábyrgð á því að hættumat vegna vatnsflóða sé gert. Ríkislögreglustjóri annast málefni almannavarna í umboði dómsmálaráðherra og tók við málaflokknum árið 2003 er Almannavarnir ríkisins voru lagðar niður. Samkvæmt lögum um almannavarnir skal ríkislögreglustjóri hafa eftirlit með gerð hættumats í samráði við almannavarnanefndir. Almannavarnanefndir eru skipaðar af sveitarstjórn. Eins er ljóst að Veðurstofan skal vinna hættumat vegna náttúruhamfara skv. lögum um Veðurstofu Íslands (nr. 70/2008) en þó aðeins að beiðni almannavarnayfirvalda eða annarra stjórnvalda. Sveitarfélögum ber svo að taka tillit til hættumats í gegnum skipulagsáætlanir en þeim er það ófært ef hættumat liggur ekki fyrir. Afleiðingar þessa geta verið mjög alvarlegar ef skipulagsáætlanir endurspegla ekki hættu á viðkomandi svæði og mannvirki eru byggð án þess að tillit sé tekið til hættu á náttúruhamförum.

Líkt og komið hefur fram er hlutverkaskipting við hættumat vegna ofanflóða komið í fastar skorður og lögfest í lögum um varnir gegn snjóflóðum og skriðuföllum (nr. 49/1997) með síðari

breytingum. Í þeim lögum er tiltekið að sveitarstjórnir í sveitarfélögum skuli óska eftir gerð hættumats við ráðherra sem skipar fjögurra manna hættumatsnefnd. Nefndin samanstendur af tveimur fulltrúum sem skipaðir eru skv. tilnefningu frá sveitarstjórn og tveimur skipuðum af ráðherra. Samkvæmt lögunum skal Veðurstofa Íslands annast gerð hættumats á grundvelli sérfræðilegrar þekkingar á eðli og afleiðingum ofanflóða að beiðni hættumatsnefndar. Hættumatsnefnd gengur frá hættumati til staðfestingar ráðherra. Auk þessa ferlis er gert staðbundið hættumat áður en nýjar byggingar eru reistar á svæðum þar sem hætta kann að vera á ofanflóðum og staðfest hættumat liggur ekki fyrir. Staðbundið hættumat er gert til þess að koma í veg fyrir nýbyggingar þar sem hætta er á ofanflóðum og sér Veðurstofa Íslands einnig um gerð þess (sjá reglugerð nr. 495/2007 um breytingu á reglugerð nr. 505 frá 2000 um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðahættumats). Samkvæmt 5. gr. reglugerðar nr. 495 frá 2007 er sá munur á kostnaði við gerð hættumats annars vegar og staðbundins hættumats hins vegar, að það fyrrnefnda er greitt af Ofanflóðasjóði en hið síðarnefnda greiðist af framkvæmdaaðila. Fyrir liggur að almenn sátt ríkir um þessa framkvæmd þar sem það kemur í hlut sveitarstjórnanna sjálfra að óska eftir gerð hættumats eða leita álits á því hvort óska beri eftir staðbundnu hættumati. Í ljósi þess er líklegt að skoðað verði gaumgæfilega hvort fylgt verið sömu stefnu um hættumat vegna vatnsflóða.

5.2 Fjármál

Skýr kostnaðarskipting milli aðila er veigamikill þáttur í hentugu ferli fyrir áhættumat vatnsflóða. Kostnaður vegna almannavarna fellur bæði á ríki og sveitarfélög. Í lögum um almannavarnir (nr. 82/2008) er fjallað um kostnaðarskiptingu en þar segir að úr ríkissjóði greiðist m.a. kostnaður vegna skipulags almannavarna, þ.m.t. verkefni ríkislögreglustjóra á sviði almannavarna sem og vegna viðbragðsáætlana á sviði einstakra ráðuneyta og undirstofnana þeirra. Í lögunum segir einnig að sveitarfélög skuli greiða kostnað vegna skipulags almannavarna í héraði, almannavarnanefnda og gerð viðbragðsáætlana í samræmi við hættumat í umdæmum.

Ofanflóðasjóður var settur á laggirnar 1976 og var hlutverk sjóðsins styrkt verulega í kjölfar hörmulegra snjóflóða sem féllu 1995. Með gildistöku laga um varnir gegn snjóflóðum og skriðuföllum (nr. 49/1997) var hlutverk sjóðsins skýrt ásamt fjárlagagrunni hans, en í lögunum kemur fram að árlegt gjald sem lagt er á brunatryggðar húseignir (0,3‰ af vátryggingarverðmæti) standi undir fjármögnun sjóðsins. Þess ber þó að geta að fjárheimildir sjóðsins eru ákveðnar í fjárlögum hvers árs. Sjóðurinn stendur straum af kostnaði m.a. vegna rannsókna og eftirlits með ofanflóðahættu. Þannig skal fé úr Ofanflóðasjóði m.a. greiða allan kostnað við gerð hættumats vegna ofanflóða, þar með talið kostnað vegna hættumatsnefnda, en kostnaður við staðbundið hættumat greiðist af framkvæmdaaðila (nr. 495/2007). Árið 2014 var samþykkt tímabundin heimild í lögum um varnir gegn snjóflóðum og skriðuföllum (nr. 127/2014) um að sjóðurinn tæki þátt í greiðslu kostnaðar við hættumat vegna eldgosa, vatnsflóða og sjávarflóða á tímabilinu 2015–2017. Sú heimild var svo framlengd í desember 2017 um fimm ár eða til 31. desember 2022, skv. lögum um breytingu á lögum um varnir gegn snjóflóðum og skriðuföllum (nr. 92/2017). Samkvæmt þessum tímabundnu heimildum er Ofanflóðasjóði því heimilt að greiða fyrir gerð hættumats vegna vatnsflóða út árið 2022.

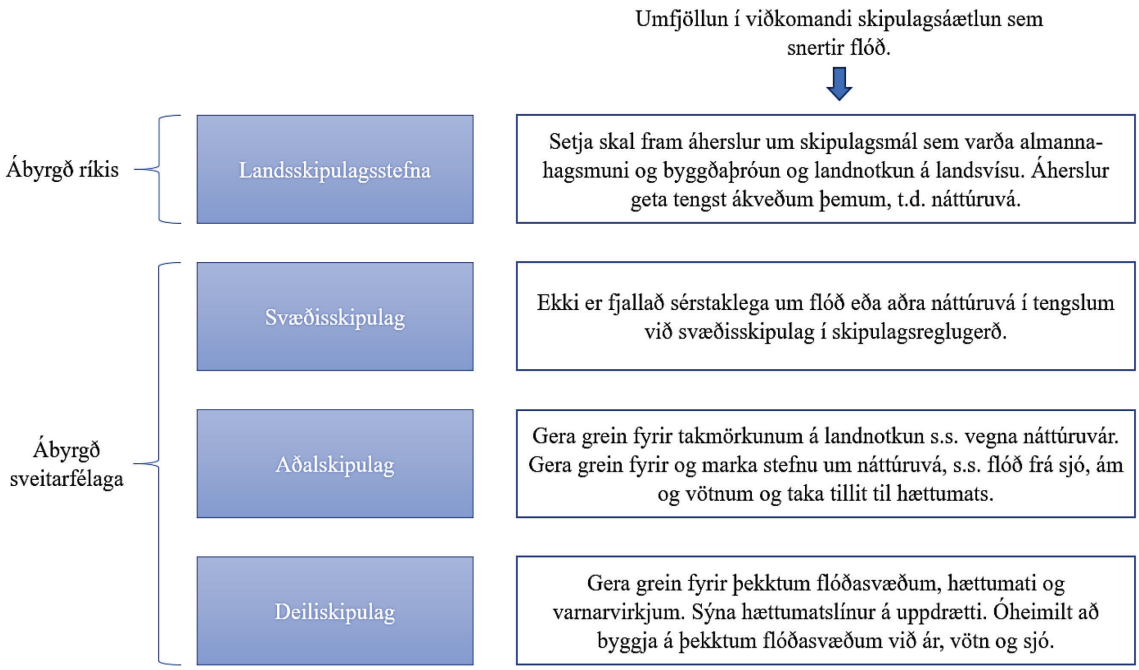
Í lögum um Náttúruhamfaratryggingu Íslands (nr. 55/1992) kemur fram að hlutverk Náttúruhamfaratrygginga Íslands sé að vátryggja gegn tjóni af völdum náttúruhamfara, þar á meðal gegn beinu tjóni af völdum vatnsflóða. Í 2. gr. reglugerðar um Náttúruhamfaratryggingu Íslands (nr. 700/2019) er fjallað um vatnsflóð sérstaklega en þar segir að þau vatnsflóð sem vátryggt er gegn með náttúruhamfaratryggingu séu eftirfarandi:

Vatnsflóð, þ.e. þegar flóð verða vegna þess að ár eða lækir sem renna að staðaldri flæða skyndilega yfir bakka sína eða flóðbylgjur frá sjó eða vötnum ganga skyndilega á land og valda skemmdum eða eyðileggingu á vátryggðum eignum. Það er einnig vatnsflóð þegar skyndileg flóð koma frá jökli vegna bráðnunar íss. Flóð vegna úrkomu og leysingavatns sem falla ekki undir 1. málsl. teljast ekki vatnsflóð. Sama á við um flóð, sem að einhverju eða öllu leyti verður af mannavöldum, t.d. þegar vatnsgeymar, stíflugarðar eða önnur mannvirki bresta af öðrum ástæðum en náttúruhamförum.

Samkvæmt þessari skilgreiningu falla ekki öll flóð sem fjallað var um í kafla 2.3 undir skilgreiningu um vatnsflóð sem vátryggt er gegn í lögum um Náttúruhamfaratryggingu Íslands. Þess ber þó að geta að Bjargráðasjóður gegnir einnig hlutverki þegar kemur að bótum á meiriháttar tjóni af völdum náttúruhamfara. Skv. lögum um Bjargráðasjóð (nr. 49/2009) er hlutverk almennu deildar sjóðsins að veita einstaklingum og félögum fjárhagsaðstoð til þess að bæta meiri háttar beint tjón af völdum náttúruhamfara, s.s. á gjaldskyldum fasteignum, girðingum, túnum og rafmagnslínum er tengjast landbúnaði, á heyi sem notað er við landbúnaðarframleiðslu og vegna uppskerubrests af völdum óvenjulegra kulda, þurrka, óþurrka og kals. Einnig segir í lögunum að tjón sem nýtur almennrar tryggingaverndar eða sem hægt er að fá bætt með öðrum hætti verði ekki bætt af hálfu Bjargráðasjóðs. Í raun má því segja að Bjargráðasjóður komi við sögu þar sem tryggingavernd lýkur.

5.3 Skipulagsmál

Brýnt er að ríki og sveitarfélög nýti takmörkun á landnotkun til varnar gegn vatnsflóðum og til þess að koma í veg fyrir tjón sem þau valda. Þetta er mögulegt með því að setja reglur og lög um landnotkun í skipulagsáætlunum, þar sem tekið er tillit til hættu- og eða áhættumats vegna vatnsflóða. Skipulagsáætlanir hérlendis skiptast í landsskipulagsstefnu sem er á vegum ríkisins og svæðisskipulag, aðalskipulag og deiliskipulag sem eru á vegum sveitarfélaga. Samkvæmt skipulagslögum (nr. 123/2010) á að setja fram stefnumið um náttúruvá sem og ýmsa aðra þætti í skipulagsáætlunum. Hér er því stuttlega farið yfir umfjöllun þar sem flóða- og náttúruvá kemur við sögu í landsskipulagsstefnu og skipulagsáætlunum, sjá mynd 19.



Mynd 19. Umfjöllun skipulagsáætlana um flóða- og náttúruvá skv. skipulagslögum, skipulagsreglugerð og reglugerð um landsskipulagsstefnu.

Samkvæmt reglugerð um landsskipulagsstefnu (nr. 1001/2011) á stefnan að samræma stefnumótun ríkis og sveitarfélaga um landnotkun og nýtingu lands. Landsskipulagsstefna skal byggja á markmiðum skipulagslaga og fellur undir verksvið Skipulagsstofnunar. Í landsskipulagsstefnu skulu settar fram áherslur um skipulagsmál sem varða almannahagsmuni og byggðaþróun og landnotkun á landsvísu. Áherslur geta tengst ákveðnum þemum og er náttúruvá þar á meðal. Í reglugerð um landsskipulagsstefnu (nr. 1001/2011) er aðeins talað um náttúruvá í heild sinni en ekki flóðavá sérstaklega. Skipulagsstofnun sér um að gera tillögu að landsskipulagsstefnu skv. skipulagslögum (nr. 123/2010) og ráðherra leggur hana fyrir Alþingi til samþykktar. Í núverandi landsskipulagsstefnu (Skipulagsstofnun, 2016) er tiltekið að skipulag landnotkunar eigi að stuðla að öryggi almennings gagnvart náttúruvá og loftslagsbreytingum. Einnig er tekið fram um flóð sérstaklega, að sveitarfélög skuli í skipulagsgerð taka tillit til þeirrar hættu sem stafar af vatnsflóðum og eftir því sem við á taka tillit til loftslagsbreytinga svo sem þar sem þær leiða til breytinga á rennsli eða farvegum jökuláa, flóðahættu eða sandfoks.

Skipulagsáætlanir sveitarfélaga skiptast eins og áður segir í þrjá flokka; svæðisskipulag, aðalskipulag og deiliskipulag. Ekki er fjallað sérstaklega um flóðavá eða aðra náttúruvá í umfjöllun um svæðisskipulag í skipulagsreglugerð (nr. 90/2013). Hins vegar segir að í aðalskipulagi skuli gerð grein fyrir takmörkunum á landnotkun s.s. vegna náttúruvár. Enn fremur skal í aðalskipulagi gera grein fyrir og marka stefnu um náttúruvá, þ.m.t. flóð frá sjó, ám og vötnum í skipulagsgögnum og taka tillit til hættumats við alla skipulagsgerð. Hvað varðar deiliskipulag segir í skipulagsreglugerð (nr. 90/2013) í grein 5.3.2.18 um náttúruvá:

Afmarka skal þau svæði sem skilgreind eru sem svæði undir náttúruvá í aðalskipulagi og gera grein fyrir takmörkunum á mannvirkjagerð sem á þeim gilda. Gera skal grein fyrir þekktum flóðasvæðum, hættumati og varnarvirkjum þar sem þau eru fyrir eða fyrirhuguð og sérstökum skilyrðum sem sett eru í hættumati um styrkingar og útfærslu mannvirkja. Hættumatslínur skulu sýndar á uppdrætti. Ef varnarvirki eru ekki risin skal sýna bæði hættusvæði með og án varna.

Ekki skal staðsetja byggingarreiti á svæðum þar sem vitað er að tjón hafi orðið af völdum ofanflóða eða þar sem líklegt má telja að ofanflóð geti fallið, nema fyrir liggi hættumat sem heimilar slíkt sbr. reglugerð um hættumat vegna ofanflóða og flokkun og nýtingu hættusvæða. Óheimilt er að byggja á þekktum flóðasvæðum við ár, vötn og sjó.

Til viðbótar við eiginlegar kröfur sem eru gerðar til skipulagsáætlana gagnvart flóðavá og hafa hér verið tíundaðar þá skal, samkvæmt skipulagsreglugerð (nr. 90/2013), við gerð svæðis-, aðal- og deiliskipulags, leitað umsagnar hjá þeim aðilum og stofnunum sem fjalla um eða fara með þá málaflokka sem skipulagið nær til. Skipulagsstofnun gefur út lista yfir aðila sem leitað skal umsagnar hjá, eftir því sem við getur átt. Veðurstofa Íslands veitir umsagnir vegna flóðavár. Í skipulagsreglugerð er svo tekið fram að hafa skuli til hliðsjónar þessar umsagnir og ábendingar sem berast við gerð og breytingar skipulagsáætlana en ekki eru tiltekin nein viðurlög gagnvart því að fara ekki eftir umsögnum. Skipulagsstofnun hefur þó eftirlit með framkvæmd skipulagslaga og skipulagsreglugerðar sem felst m.a. í að fara yfir skipulagstillögur sveitarfélaga og að staðfesta aðal- og svæðisskipulag. Þess má einnig geta að við skoðun á byggingarreglugerð (nr. 112/2012) kemur í ljós að ekki er fjallað um flóð eða flóðavarnir húsa sérstaklega en tekið er fram að tryggja skuli að vatn s.s. grunnvatn, yfirborðsvatn og úrkoma, geti hvorki skaðað mannvirki eða einstaka hluta þess.

Þegar kemur að skipulagsmálefnum má því segja að yfir það heila er mikilvægt að það komi fram á öllum stigum innan skipulagsáætlana að taka þurfi tillit til hættumats vegna vatnsflóða (og annarrar náttúruvár). Einnig þarf að vera ljóst hvaða ferli tekur við ef hættumat fyrir viðkomandi svæði hefur ekki verið gert. Síðast en ekki síst þarf að vera skýrt hvort að öll viðmið sem sett eru fram í hættu- og áhættumati flóða eða umsögnum vegna flóðavár í gerð og breytingum skipulagsáætlana sveitarfélaga séu ráðgefandi eða bindandi.

6 Tillögur að áhættuviðmiðum fyrir vatnsflóð

Skipulögð áhættustýring, með formlegu áhættumati, viðbragðsáætlunum og aðgerðum til þess að draga úr tjóni, er vænlegasta leiðin til þess að mæta hættu vegna flóða og breytingum á þeirri hættu. Þetta heildarferli krefst samspils ýmissa þátta sem þyrftu að vera í betri farvegi hérlendis. Í því ljósi þarf fyrst og síðast að skapa umgjörð sem almenn sátt ríkir um, þ.e.a.s. um aðferðafræði, hlutverk aðila og viðmið. Til þess koma áhættu á ásættanlegt stig, er hægt að grípa til aðgerða sem beinast bæði að líkum og afleiðingum. Þessar aðgerðir geta snúið að málefnum og verkefnum til lengri tíma, s.s. landnotkun eða varnaraðgerðum til þess að takmarka áhrif flóða, en einnig er hægt að vinna að verkefnum með skammtímaáhrif í huga, s.s. tengt flóðaviðvörunum og framkvæmd neyðaraðgerða. Hér hefur að mestu leyti verið fjallað um aðgerðir til lengri tíma litið, þ.e.a.s. þann ramma sem þarf að setja um hættu- og áhættumat vegna flóða.

Í fyrstu köflum þessarar skýrslu var fjallað um bakgrunn og lykilþætti hættu- og áhættumats flóða. Seinni kaflar skýrslunnar greindu hins vegar frá aðferðafræði og nytsamlegum dæmum um áhættumat vegna flóða erlendis, sem og skipulag flóðavár hérlendis. Með þessari samantekt um hættu- og áhættumat vegna flóða og leiðbeiningum um næstu skref við stjórnun vegna flóðavár, er lagður fram rammi sem nota má fyrir hættu- og áhættuviðmið flóða hérlendis. Niðurstöður samantektarinnar eru því settar fram sem (i) dæmi um áhættumat vegna flóða sem nýst gæti hérlendis, með hliðsjón af niðurstöðum úr kafla 4 og (ii) tillögur að bættri áhættustjórnun, með hliðsjón af niðurstöðum úr kafla 5. Þetta ferli er í samræmi við Flóðatilskipun Evrópusambandsins (Flóðatilskipun 2007/60/EC), sjá mynd 8. Frumgreining áhættumats og kortlagning hættu og áhættu samræmast lið (i), en liður (ii) snýr að bættri áhættustjórnun.

6.1 Dæmi um áhættumat vegna flóða

Eftir ítarlega skoðun á mismunandi ferlum við áhættumat vegna flóða (kafli 4) er hér sett fram dæmi um áhættumat vegna flóða sem nýst gæti hérlendis. Lagt er upp með að nýta þá þætti úr hættumati flóða erlendis sem talið er að best muni falla að aðstæðum hér og er miðað við að ferlið geti verið einfalt, nýtist fyrir mismunandi tegundir flóða og henti á ólíkum stöðum í mismunandi skala. Í kafla 4 kom fram að hagnýting hættu- og áhættumats flóða snýr einkum að því að beita skipulagsáætlunum til þess að lágmarka áhættu af völdum flóða. Ein mikilvægasta aðgerðin til þess að takmarka tjón vegna flóða er að bæta skipulag og landnotkun á flóðasvæðum. Í dæminu hér að neðan er lögð fram tillaga að áhættumati vegna flóða með áhættuviðmiðum sem hægt er að tvinna inn í skipulagsáætlanir og lágmarka þannig tjón vegna flóða.

Í kafla 3 var fjallað um tjónnæmi. Þar kom fram að mikill minnihluti vatnsflóða hérlendis hefur í för með sér svo mikla hættu að mannslíf séu í húfi. Í vatnsflóðum er almennt meiri hætta á eignatjóni og samfélagslegri röskun vegna tjóns á innviðum. Áhætta vegna flóða beinist því sjaldnar að líkum á dauðsfalli eins og í annarri náttúruvá, en frekar að því að draga úr hættu á efnahagslegu tjóni og samfélagslegri röskun. Þó geta t.d. jökulhlaup og skyndiflóð verið mannskæð og því eðlilegt að horfa til áhættu fólks vegna flóða í ákveðnum tilfellum. Hér er lagt upp með að nýta tvenns konar aðferðafræði, annars vegar sem gildir fyrir meirihluta flóða þar sem mannslíf eru ekki í húfi og hins vegar fyrir þau tilfelli þar sem rétt er að greina tjónnæmi fólks í flóðum. Eftirfarandi dæmi um áhættumat er sett fram í fjórum meginskrefum.

1. Fyrsta skref er að safna bakgrunnsupplýsingum um flóð, gerð þeirra og afleiðingar á þeim svæðum þar sem framkvæma á hættu- eða áhættumat. Þetta skref getur verið einfalt í framkvæmd þar sem beita má greiningu á landslagi og landmótun við mat á útbreiðslu flóða, sem og kortlagðri útbreiðslu fyrri flóða. Með einföldu mati á mesta mögulega flóði, má fá vísbendingar um flóð og afleiðingar þeirra á viðkomandi stað og hvaða staðir gætu farið undir flóðvatn. Niðurstöðurnar gætu einnig sýnt hvar getur verið hætta vegna flóða og hvað kann að vera í húfi. Ef fyrirséð er að hættan og áhættan reynist lítil sem engin er ekki ástæða til þess að aðhafast frekar við hættu- eða áhættumat.
2. Í öðru skrefi er hætta á flóðum viðkomandi stað greind með útreikningum á stærð og útbreiðslu að lágmarki þriggja flóða, með t.d. 20, 200 og 1000 ára endurkomutíma. Val á endurkomutíma miðast hér við norsku viðmiðin sem sjá má í kafla 4.4.2 en eins væri hægt að miða t.d. við ensku viðmiðin úr kafla 4.4.1. Flóðin eru hermd í straumfræðilíkani og fást upplýsingar um straumhraða, dýpi og útbreiðslu flóða (mynd 20). Slíkar niðurstöður duga sem grunnur undir hættumat, en sé lífi fólks ógnað skal einnig meta áhættu. Að auki kann að vera æskilegt að meta áhættu innan þéttbýlis eða þar sem mikilvægir innviðir eru í hættu, t.d. virkjana- og samgöngumannvirki.
3. Í skrefi þrjú er framkvæmt hættumat. Möguleg nálgun er að leggja drög að svæðisskiptingu út frá árlegum líkum á útbreiðslu flóða (tafla 11). Slíkar niðurstöður er hægt að nýta innan skipulagsáætlana, líkt og sjá má í umfjöllun í kafla 4.4.

Tafla 11. Drög að skiptingu svæða út frá endurkomutíma flóða.

Svæði	Endurkomutími [ár]
3	20
2	200
1	1000

Svæði 3 er minnst og tekur til svæðis næst árfarveginum, svæði 2 er stærra og svæði 1 er umfangsmest. Hægt væri að leggja fram svipuð viðmið og gert er í norsku byggingar-reglugerðinni (TEK17, 2017) þar sem segir að byggingar skuli staðsetja, hanna eða verja gegn flóðum þannig að ekki sé farið umfram mestu árlegu líkur í töflunni. Einnig kemur fram að hægt sé að mæta öryggiskröfunum með því að (i) koma mannvirkinu fyrir utan þess flóðasvæðis sem reglugerðin skilgreinir sem lágmarkskröfur, (ii) með því að tryggja það gegn flóðum með vörnum á mannvirkinu eða varnaraðgerðum í nágrenni þess eða (iii) hanna það á þann veg að það þoli álag og hægt sé að forðast tjón. Hægt er að setja viðmið fyrir leyfilegar byggingar eða uppbyggingu innan hvers svæðis líkt og fjallað var um í kafla 4.4.

Innan hvers svæðis (1–3) er mögulegt að greina frekar stærð flóðsins og tjónmætti skv. jöfnu 1 út frá dýpi, hraða og mögulegu magni sets og annars efnis sem berst með flóðinu. Þá er einnig hægt að nýta upplýsingarnar til ákvarðanatöku með hliðsjón af ALARP hugmyndafræðinni og leggja mat á efnahagslegt tjón t.d. út frá sambandi vatnsdýpis og tjóns.

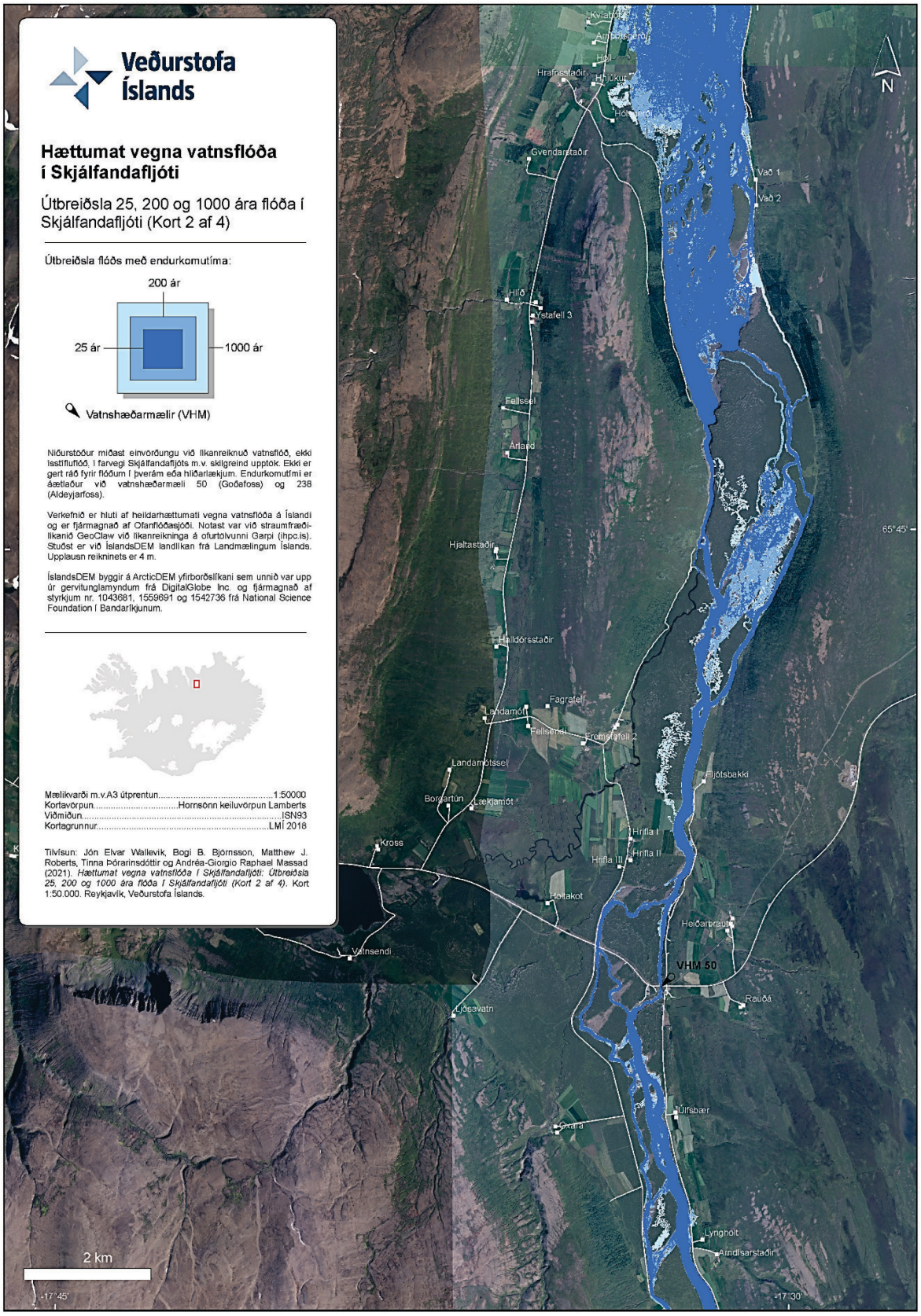
4. Fjórða skref er að greina með mati sérfræðings hvort að stærsta mögulega flóð geti ógnað lífi fólks. Það er hvort um er að ræða flóð sem eru hraðvaxandi, beljast áfram með miklum hraða og gefa lítinn möguleika á viðvörun og gætu sett líf fólks í hættu eða hvort flóðin eru hægvaxandi sem gefur tækifæri til rýmingar ef á þarf að halda. Taka þarf mið af mótvægisaðgerðum, s.s. flóðvörnum og viðvörunarkerfum. Dæmi um flóð sem geta ógnað lífi fólks eru jökulhlaup eða flóð í litlum, bröttum vatnasviðum sem skila úrkomu hratt fram. Sé lífi fólks ekki ógnað er hættumat úr skrefi þrjú nægjanlegt.

   Ef lífi fólks er hugsanlega ógnað er mælt með því að meta áhættu til viðbótar við hættumat, t.d. með aðferðafræði DEFRA, sjá kafla 3.4 og viðauka IV. Aðferðafræðin byggist á því að taka saman upplýsingar um tjónmætti, tjónnæmi svæðis og tjónnæmi fólks og meta fjölda þeirra sem kunna að láta lífið í tilteknu flóði. Tengja má niðurstöðurnar annars vegar við upplýsingar um viðveru á árlegum grunni og hins vegar við upplýsingar um árlegar líkur á ákveðnu flóði eða hlaupi. Með þessu móti má áætla árlegar líkur á því að einstaklingur látist í flóðum eða hlaupum á tilteknum stað. Niðurstöðurnar má bera saman við viðunandi áhættu af völdum ofanflóða og notast við þau áhættuviðmið sem þar koma fram, sjá kafla 3.4.

Verði notast við aðferðafræði í samræmi við þetta dæmi þyrfti að skilgreina tæknilega útfærslu á einstökum verkþáttum í leiðbeiningarskjali. Slíkar leiðbeiningar þyrfti að uppfæra reglulega með tilliti til framþróunar í landfræðilegum upplýsingakerfum, straumfræði reikningum og áhættu-stjórnun. Leiðbeiningarnar þyrftu einnig að fjalla um meðhöndlun óvissu í aðferðafræðinni, s.s. vegna mats stærð flóða með vissan endurkomutíma, sjá viðauka II.

Mögulegt er að nýta þessi fjögur skref til þess að stýra uppbyggingu inn á svæði þar sem ekki er hætta á flóðum. Svæðisskiptingin samkvæmt skrefi þrjú getur gefið vísbendingar á einfaldan hátt um svæði sem líklegt má telja að séu örugg, t.d. væri hægt að setja fram viðmið um að fram-

kvæmdir eða skipulagsbreytingar utan svæðis 1 séu ekki í hættu vegna flóða og krefjist ekki frekari skoðunar vegna flóðahættu. Svæðisskiptingin getur þannig gefið til kynna upplýsingar sem hægt er að nýta fyrir skipulag á viðkomandi svæði, jafnt byggingar sem og innviði. Á hverju svæði sem greint er á þennan hátt fást upplýsingar um þrjú hættusvæði þar sem svæði 3 er minnst en þar má gera ráð fyrir að töluverð hætta sé á flóðum og því eðlilegt að framtíðarskipulag miði við að lágmarka framkvæmdir innan þess svæðis. Svæði 2 gæti miðast við staði þar sem hægt er að gera ráð fyrir íbúðarbyggð en þó með þeim fyrirvara að hús séu byggð með mögulega flóðahættu í huga, s.s. án kjallara eða með lægsta gólfviðmið ofan við tilgreinda flóðahæð. Þá mætti hugsa sér að innan svæðis 1 mætti byggja þjónustuhúsnæði, svo sem skóla og sjúkrahús en þó væri betra að skipuleggja þess háttar byggingar utan hættusvæða ef því verður komið við. Nýta má þær upplýsingar sem fram koma í kafla 4.4 um hagnýtingu hættu- og áhættumats flóða til þess að leggja fram nánari tilhögun á svæðaskiptingu og viðmið innan hvers svæðis. Sjá má dæmi um hvernig svæðisskipting gæti litið út á mynd 20.



Mynd 20. Dæmi um skiptingu svæða út frá endurkomutíma flóða (Tinna Þórarinsdóttir o.fl., 2021).

6.2 Víðtækari þættir og umbætur í umhverfi flóðastjórnunar

Aðgerðir til þess að draga úr tjóni vegna flóða ættu að vera útgangspunktur við uppbyggingu eða úrbætur á áhættustjórnun flóða. Þessar aðgerðir felast í að minnka líkur á flóðum og neikvæð áhrif þeirra. Á sama tíma eru yfirvofandi þættir sem talið er að muni auka áhættu, svo sem loftslagsbreytingar og breytingar á landnotkun, t.d. með þéttingu byggðar, þéttbýlismyndun, aukinni ferðaþjónustu og sumarhúsabyggðum. Þetta undirstrikar hversu nauðsynlegt er að auka skilning á hættu vegna flóða og jökulhlaupa yfir landið allt, svo unnt sé að vera betur undirbúin fyrir framtíðina. Hættu- og áhættumat vegna náttúruvár þ.m.t. vatnsflóða eru sífelluverkefni. Endurskoða þarf matið reglulega þar sem taka þarf mið af tækniþróun, gagnaöflun, rannsóknum, aðlögun, mótvægisaðgerðum, þróun samfélagsins og áhættuviðmiðum. Auk þess þarf að taka tillit til loftslagsbreytinga og þeirra sviðsmynda sem lagðar eru fram reglubundið af milliríkjanefnd Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar, IPCC.

Hér eru lagðar fram tillögur að umbótum á áhættustjórnun flóða sem byggjast að mestu á stöðu flóðamála og þeim áskorunum sem greindar hafa verið hérlendis (sjá kafla 5). Tillögurnar eru settar fram sem listi aðgerða og hugmynda sem stuðla að því að minnka eða viðhalda tjónnæmi vegna flóðahættu á stigi sem telst almennt ásættanlegt, styðja við þekkingaruppbyggingu um flóð og hættu vegna þeirra og setja ramma um hættu- og áhættumat.

Skipulag: Koma þarf fram á öllum stigum innan skipulagsáætlana að taka þurfi tillit til hættu vegna vatnsflóða (og annarrar náttúruvár). Einnig þarf að vera ljóst hvaða ferli tekur við ef hættumat fyrir viðkomandi svæði er ekki tilbúið. Umsagnir gegna veigamiklu hlutverki í skipulagsáætlunum en nauðsynlegt er að skerpa á vægi umsagna og eftirfylgni með þeim. Skýrt þarf að vera hvort viðmið sem sett eru fram í hættumati flóða eða umsögnum vegna flóðavár við gerð og breytingar skipulagsáætlana sveitarfélaga eru ráðgefandi eða bindandi.

Ábyrgð, hlutverk og kostnaður: Nauðsynlegt er að setja skýrari ramma um hlutverk mismunandi aðila og stofnana til þess að ljóst sé hver ber ábyrgð á því að hætta á flóðum sé metin. Gott væri að nýta þá reynslu sem skapast hefur um utanumhald, kostnaðarskiptingu og gerð hættumats og staðbundins hættumats vegna ofanflóða og koma á svipuðu fyrirkomulagi varðandi aðra náttúruvá þ.m.t. vatnsflóð. Nauðsynlegt er að það ferli sem sett verður upp fyrir áhættumat vegna flóða muni einfalda ákvarðanir um flóðavá fyrir sveitarfélög og skipulagsáætlanir. Með því að greina það land sem útsett er fyrir flóðum í þrjá svæðisflokka (sjá kafla 6.1) má einfalda ákvarðanir innan sveitarfélaga um viðeigandi landnotkun. Einnig þarf að setja fram lausn til framtíðar vegna kostnaðar við hættumat vatnsflóða sem allir hlutaðeigandi aðilar geta staðið undir.

Mælakerfið: Miklu máli skiptir að gagnaraðir rennslis og úrkomu nái yfir sem lengst tímabil til þess að unnt sé að greina endurkomutíma flóða og úrkomu með áreiðanlegum hætti. Mikilvægt er að halda áfram mælingum á þeim stöðum þar sem rennslisgæfir vatnshæðarmælar eru í rekstri til þess að safna lengri rennslisröðum fyrir mat á endurkomutíma. Þessu til viðbótar nýtast vatnshæðarmælar einnig til rauntímavöktunar á flóðum, sem gefur möguleika á viðvörunum og rýmingu. Hérlendis er rekið net vatnshæðar- og úrkomumæla, þó er ljóst að ekki eru mælingar á öllum svæðum, sjá viðauka I. Því þarf á ýmsum stöðum að reiða sig á önnur gögn og mikilvægt er að reikna afrennsli og nýta háupplausnar veðurspálíkön til þess að styðja við mælingarnar.

Loftslagsbreytingar: Loftslagsbreytingum munu fylgja auknar áskoranir vegna flóða. Til þess að unnt sé að greina mögulegar breytingar sem verða vegna loftslagsáhrifa þarf að halda áfram að safna gögnum um rennsli í hárri tímaupplausn. Erfitt er að meta breytingar á stærð og tíðni flóða sem hægt er að nýta um allt land út frá tiltækum rannsóknum hérlendis. Nauðsynlegt er að byggja frekar undir þessar rannsóknir, skoða frekar áhrif loftslagsbreytinga á flóð innan mun fleiri vatnasviða vítt og breytt um landið til þess að unnt sé að fá heildarmynd sem hægt er að nýta, s.s.

innan skipulagsáætlana, við hættumat og hönnun mannvirkja. Líkanreikningar á afrennsli eru einnig mikilvægir í þessu samhengi. Eins er nauðsynlegt að afla frekari upplýsinga um úrkomuákefð á þéttbýlisstöðum og vinna að rannsóknum á áhrifum loftslagsbreytinga á flóðahættu í þéttbýli jafnt sem dreifbýli. Auk þess þarf að taka tillit til hækkunar á sjávarstöðu og greina hvaða áhrif aukin hætta á sjávarflóðum kann að hafa á vatnsflóð vegna bakvatnsáhrifa nærri ósum áa eða í fráveitukerfum.

Nýting staðbundinnar þekkingar og miðlun upplýsinga: Víðtæk þekking á flóðahættu og góð vitund almennings um áhættu minnkar afleiðingar sem flóð kunna að hafa á einstaklinga (Henriksen o.fl., 2018). Samskiptaáætlanir eru mikilvægur þáttur í áhættustjórnun. Flóðaviðvaranir, leiðbeiningar og almenn fræðsla um flóðahættu og áhættu geta aukið vitund og viðbúnað almennings. Opinberar skýrslur um óvenjuleg eða hættuleg flóð veita líka ekki aðeins vísindamönnum og fyrstu viðbragðsaðilum dýrmætar staðbundnar upplýsingar, heldur hjálpa þær einnig til við að auka vitund almennings um hættuna. Samráð við almenning er mikilvægt í áhættumati, ekki einungis til þess að auka vitund almennings um flóðavá, heldur einnig til þess að fá sem réttastar upplýsingar um áhrif flóða. Þátttaka almennings getur t.d. hjálpað til við að sannreyna spár og greina breytingar eða þróun sem kann að reynast skaðleg. Því er líka lögð áhersla á að nýta þekkingu heimamanna á hverjum stað við greiningu á orsökum og áhrifum flóða (sjá skref númer 1 í tillögum að ferli áhættumats sem lýst er í kafla 6.1).

6.3 Áhersluatriði

- Mikilvægt er að til séu hérlendis áhættuviðmið og leiðbeiningar um gerð hættu- og áhættumats vegna vatnsflóða.
- Endurskoða þarf viðmiðin reglulega í samræmi við efnahags- og samfélagsleg gildi hverju sinni.
- Hættu- og áhættumat vegna flóða þarf að hafa ákveðið vægi í lögum og reglugerðum, einkum í skipulagsáætlunum.
- Mikilvægt er að ferlið sem sett verður upp fyrir hættu- og áhættumat vegna flóða einfaldi ákvarðanir um flóðavá fyrir sveitarfélög og í skipulagsáætlunum.
- Rammi um hlutverk mismunandi aðila og stofnana þarf að vera skýrari til þess að ljóst sé hver ber ábyrgð á því að hætta á flóðum sé metin.
- Góð þekking um allt land á hættu vegna flóða og jökulhlaupa er mikilvæg svo unnt sé að taka réttar ákvarðanir varðandi uppbyggingu, aukna ferðamennsku og til að vera betur undirbúin fyrir framtíðina.
- Taka þarf tillit til áhrifa loftslagsbreytinga í þeim ramma sem settur verður um mat á hættu og áhættu vegna flóða. Rannsóknir á áhrifum loftslagsbreytinga á flóðahættu eru grunnur undir slíka vinnu.
- Halda þarf áfram mælingum á þeim stöðum þar sem rennslisgæfir vatnshæðarmælar eru í rekstri til þess að safna sem lengstum rennslisröðum fyrir mat á endurkomutíma.
- Afrennslis reikningar og notkun háupplausnar veðurspálíkana styðja við mælingarnar.
- Samráð við almenning er mikilvægt, ekki einungis til þess að auka vitund um flóðavá, heldur einnig til þess að fá sem réttastar upplýsingar um áhrif flóða.
- Fullkomnar varnir gegn flóðum eru ástæðulausar og í raun óframkvæmanlegar. Eðlilegt er að lágmarka áhættu frekar eins og raunhæft er í samræmi við ALARP áhættustjórnun.

7 Lokaorð

Hérlendis er ekki tiltækur rammi um hættu- og áhættumat vegna flóða. Vatnsflóð geta valdið verulegu tjóni, jafnvel manntjóni. Að auki munu loftslagsbreytingum fylgja auknar áskoranir vegna flóða. Hugsanleg flóðasvæði eru einnig oft vinsæl til búsetu eða frístundadvalar og aukinn þrýstingur um uppbyggingu innan þeirra. Af þessum ástæðum er mikilvægt að áhætta flóða sé metin og skýr rammi settur um áhættustjórnun sem skipulagsáætlanir taka mið af. Leggja þarf fram skýr fyrirmæli um ábyrgð á stjórnun, hlutverki og aðgerðum. Með þeim hætti geta allir aðilar, þar á meðal ríkisvald, sveitarfélög, stofnanir, einkaaðilar og almenningur, tekið þátt í því að draga úr áhættu. Miðla þarf upplýsingum um hættu og óvissuþætti tímanlega, á sem áhrifaríkastan hátt og sem víðast. Miðlun upplýsinga eftir slys er of seint. Ekki er hægt að reiða sig á eina úrlausn eða aðgerð, heldur þarf fjölþætt viðbrögð, allt frá aðgerðum í gegnum skipulagsáætlanir til aukinnar vitundar almennings um áhættu.

Taka þarf tillit til þess að framtíðin mun að öllum líkindum verða ólík fortíðinni. Breyttar forsendur, s.s. vegna loftslagsáhrifa eða samfélagsbreytinga geta haft áhrif á flóðaáhættu. Einnig þarf að taka ákvarðanir byggðar á skilningi á áhættu og óvissuþáttum. Mikilvægt er að undirbyggja rannsóknir og hættu- og áhættumat vegna flóða með öflugu vatnshæðarmælakerfi og löngum samfelldum gagnaröðum. Nauðsynlegt er að sætta sig við að fullkomnar varnir gegn flóðum séu ástæðulausar og í raun óframkvæmanlegar. Með því að sætta sig við að ekki verði komist alfarið hjá neikvæðum áhrifum flóða er því hægt að leggja fremur áherslu á að auka aðlögunarhæfni. Viðvaranir byggðar á rauntímavöktun rennslis og vatnshæðar auka slíka hæfni.

Áhættustjórnun í daglegu lífi þarf að fara fram með heildrænum hætti og felst m.a. í viðleitni til þess að lágmarka áhættu í gegnum landnotkun og skipulag, með viðvörunarkerfum og rýmingaráætlunum. Skilvirkasta leiðin til þess að lágmarka tjón af völdum flóða er að beita skipulagsáætlunum til þess að koma í veg fyrir að tjónnæmi samfélagsins aukist. Hættu- og áhættumat vegna flóða er öflugt verkfæri til þess að styðja við upplýsta ákvarðanatöku við uppbyggingu lands sem kann að vera útsett fyrir flóðum. Því er mikilvægt að slíkt mat hafi ákveðið vægi í lögum og reglugerðum, einkum í skipulagsáætlunum.

Heimildaskrá

Alberta Government (á.á.). Alberta Floods Portal - Hazard. Sótt á: https://floods.alberta.ca

Almannavarna- og öryggismálaráð (2021). Stefna stjórnvalda í almannavarna og öryggismálum. Reykjavík: Dómsmálaráðuneytið. 30 bls.

Almannavarnir (2017). Almannavarnanefndir - Almannavarnir. Sótt á:

www.almannavarnir.is/almannavarnir/almannavarnarnefndir/

Anna Dóra Sæþórsdóttir, Þorkell Stefánsson, Margrét Wendt & Edita Tverijonaite (2021). Sýn ferðaþjónustunnar á nýtingu miðhálendis Íslands. Reykjavík: Land- og ferðamálafræðistofa, Líf- og umhverfisdeild Háskóla Íslands

Arheimer, B. & Lindström, G. (2015). Climate impact on floods: changes in high flows in Sweden in the past and the future (1911–2100). Hydrol. Earth Syst. Sci, **19**, 771–784

Árni Snorrason, Páll Jónsson, Svanur Pálsson, Sigvaldi Árnason, Oddur Sigurðsson, Skúli Víkingsson, Ásgeir Sigurðsson & Snorri Zóphóníasson (1997). Hlaupið á Skeiðarársandi haustið 1996 – útbreiðsla, rennsli og aurburður. Birt í: Vatnajökull - Gos og Hlaup 1996. Reykjavík: Vegagerðin, 79–137.

Árni Snorrason, Helgi Björnsson & Helgi Jóhannesson (2000). Causes, characteristics and predictability of floods in regions with cold climate. Birt í: Floods, vol. I (ritstj. J. Parker), London: Routledge, 198–217

Árni Snorrason, Oddur Sigurðsson, Gunnar Sigurðsson, Bogi Brynjar Björnsson & Jórunn Harðardóttir (2007). Flóð á Skeiðum. Reykjavík: Orkustofnun. Greinargerð ASn/OSig/GS/BBB/JHa-2007/001

Ásdís Helgadóttir, Emmanuel Pagneux, Matthew J. Roberts, Esther H. Jensen & Eiríkur Gíslason (2015) Öræfajökull Volcano: Numerical simulations of eruption-induced jökulhlaups using the SAMOS flow model. Birt í: Emmanuel Pagneux, Magnús T. Gudmundsson, Sigrún Karlsdóttir & Matthew J. Roberts (ritstj.), Volcanogenic floods in Iceland. An assessment of hazards and risks at Öræfajökull and on the Markarfljót outwash plain Reykjavík: Veðurstofa Íslands, Jarðvísindastofnun Háskólans, Almannavarnadeild Ríkislögreglustjóra, 73–100

Ásta Ósk Hlöðversdóttir (2010). Impacts of Climate Change on Wastewater Systems in Reykjavík. Meistararitgerð, Verkfræði- og náttúruvísindasvið, Háskóli Íslands, 82 bls.

Berg, H. (2005). Flood management in Norway - responsibilities of the Norwegian Water resources and Energy directorate. Birt í: International conference on innovation advances and implementation of flood forecasting technology, Tromsø. Sótt á:

www.ngi.no/nor/content/download/10842/1565641/version/1/inLanguage/nor-NO/file/Ekskursjon%20Geofaredag%20Rapporter%20relatert%20til%20flom.pdf

Bergur Einarsson, Einar Hjörleifsson, Tinna Þórarinsdóttir & Matthew J. Roberts (2022). Áhættumat vegna jökulhlaupa frá Sólheimajökli. Reykjavík: Veðurstofa Íslands

Bergur Einarsson, Eyjólfur Magnússon, Matthew J. Roberts, Finnur Pálsson, Thorsteinn Thorsteinsson & Tómas Jóhannesson (2016). A spectrum of jökulhlaup dynamics revealed by GPS measurements of glacier surface motion. Annals of Glaciology, 57, 47–61. doi: 10.-1017/aog.2016.8

Bottelberghs, P.H. (2000). Risk analysis and safety policy developments in the Netherlands. Journal of Hazardous Materials **71**, 59–84

Braden, J. & Simonovic, S.P. (2020). A Review of Flood Hazard Mapping Practices Across Canada. London Ontario: The University of western Ontario

Byggingarreglugerð nr. 112/2012

Costa, J.E. (1985). Floods from dam failures. USGS Open-File Report. Sótt á:

http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr85560

Crochet, P. (2012). Estimating the flood frequency distribution for ungauged catchements using an index flood procedure. Application to ten catchments in Northern Iceland. Reykjavík: Veðurstofa Íslands

Crochet, P. (2015). Regional Flood Frequency Analysis: Application to partly glacierized and/or groundwater-fed catchments, Reykjavík: Veðurstofa Íslands

Crochet, P. (2020). Flood frequency analysis in a changing climate - Climate change impact on design flood, s.l.: Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar

Crochet, P. (2021). Impact of climate change on mean and high streamflow characteristics in Icelandic watersheds: a case study, s.l.: Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar

Crochet, P. & Þórarinsdóttir, T. (2014). Flood frequency estimation for ungauged catchments in Iceland by combined hydrological modeling and regional frequency analysis, Reykjavík: Veðurstofa Íslands

Crochet, P. & Þórarinsdóttir, T. (2015). Regional Flood Frequency Analysis: A case study in eastern Iceland, Reykjavík: Veðurstofa Íslands

Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA) (2003). Flood Risks to People. Phase 1 (Skýrsla FD2317/TR)

Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA) (2006a). Flood Risks to People. Phase 2 (Skýrsla FD2321/TR2)

Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA) (2006b). R&D outputs: flood risks to people. Phase 2 (Skýrsla FD2321/TR1)

Department for Communities and Local Government (2009). Planning Policy Statement 25. London: Department for Communities and Local Government

Eikenæs, O., Bakkan, M., Berg, H. & Roald, C.M. (2020). Plan for flomfarekartlegging 2021–2025, Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat

Emmanuel Pagneux & M.J. Roberts (2015). Öræfi district and Markarfljót outwash plain: Rating of flood hazards. Birt í: Emmanuel Pagneux, Magnús T. Gudmundsson, Sigrún Karlsdóttir & Matthew J. Roberts (ritstj.), Volcanogenic floods in Iceland. An assessment of hazards and risks at Öræfajökull and on the Markarfljót outwash plain Reykjavík: Veðurstofa Íslands, Jarðvísindastofnun Háskólans, Almannavarnadeild Ríkislögreglustjóra, 102–122

Emmanuel Pagneux, Guðrún Elín Jóhannsdóttir, Tinna Þórarinsdóttir, Hilmar Björn Hróðmarsson & Davíð Egilsson (2017). Flóð á vatnasviðum Eyjafjarðarár, Héraðsvatna, Hvítár í Borgarfirði, Lagarfljóts og Skjálfandafljóts, Reykjavík: Veðurstofa Íslands, Skýrsla: VÍ 2017-006

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

Emmanuel Pagneux, Matthías Á. Jónsson, Bogi B. Björnsson, Sif Pétursdóttir, Njáll F. Reynisson, Hilmar B. Hróðmarsson, Bergur Einarsson & Matthew J. Roberts (2019). Hættumat vegna vatnsflóða í Hvítá og Ölfusá, Reykjavík: Veðurstofa Íslands, Skýrsla: VÍ 2017-013

Environment Agency, (2009). Flooding in England: A National Assessment of Flood Risk, Bristol: Environment Agency

Environment Agency, (2018). Preliminary Flood Risk Assessment for England, Bristol: Environment Agency

Environment Agency, (2019). Flood Risk Maps for Rivers and Sea in England - December 2019. Sótt á:

https://environment.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=4d066e4a4373486e96dff8d3a86207ae

Eskilsson, C., Árnason, J.I. & Rosbjerg, D. (2002). Simulation of the jökulhlaup on Skeiðarársandur, Iceland, in November 1996 using MIKE 21 HD. Reykjavík, International Association of Hydrological Sciences 2002, 37–43

European Commission (2016). EU overview of methodologies used in preparation of Flood Hazard and Flood Risk Maps, Luxembourg: Publications Office of the European Union

European Environment Agency (2020). Deaths related to flooding in Europe. Sótt á: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/peopleper-million-population-affected-4

FEMA (2018). Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping - Flood Risk Assessments

FEMA (2020a). Flood Risk Analysis and Mapping (Rev. 12). Sótt á: www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_flood-risk-analysis-mapping-policy.pdf

FEMA (2020b). Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping - Floodway Analysis and Mapping.

FEMA (á.á.). Flood Map Products. Sótt á: www.fema.gov/flood-maps/products-tools/products

Fergus, T. & Berg, H. (2008). Integration of flood risk information into land use planning in Norway. Birt Í: Interpraevent 2008 – Conference Proceedings, Vol. 1, 71–78

Flóðatilskipun Evrópuþingsins og ráðsins (2007). Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks Sótt á: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2007/60/oj

FLOODsite (2009). Flood risk assessment and flood risk management. An introduction and guidance based on experiences and findings of FLOODsite (an EU-funded Integrated Project)., Delft: Deltares | Delft Hydraulics.

FloodSmart Canada (2019). FloodPlain Maps - FloodSmart Canada. Sótt á:

http://floodsmartcanada.ca/floodplain-maps/

GWP og WMO, 2013. Integrated flood management tools series: flood mapping, WMO

Halldór Björnsson, Bjarni D. Sigurðsson, Brynhildur Davíðsdóttir, Jón Ólafsson, Ólafur S. Ástþórsson, Snjólaug Ólafsdóttir, Trausti Baldursson & Trausti Jónsson (2018). Loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi – Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar 2018. Reykjavík: Veðurstofa Íslands, 236 bls.

Helgi Björnsson (1974). Explanation of jökulhlaups from Grímsvötn, Vatnajökull, Iceland. Jökull, **24**, 1–26

Helgi Björnsson (1992). Jökulhlaups in Iceland: prediction, characteristics and simulation. Annals of Glaciology, **16**, 95–106

Helgi Björnsson (2002). Subglacial lakes and jökulhlaups in Iceland. Global and Planetary Change, **35**, 255–271. doi:10.1016/S0921-8181(02)00130-3

Health and Safety at Work etc. Act (1974) Sótt á:

https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1974/37/contents

Helgi Gunnar Gunnarsson, Sveinn Óli Pálmarsson, Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir & Guðrún Larsen (2018). Hermun Kötluhlaups í Múlakvísl og mat á rennsli til Víkur. Birt í: Kötluráðstefna, 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918 Vík í Mýrdal, 12. október 2018, Jarðfræðifélag Íslands, 46–50

Henriksen, H.J, Roberts, M. J., van der Keur, P.,Harjanne, A., Egilson, D. & Leonardo A. (2018). Participatory early warning and monitoring systems: A Nordic framework for web-based flood risk management. International Journal of Disaster Risk Reduction, **31**, 1295–1306. doi:10.1016/j.ijdrr.2018.01.038

Hilmar Björn Hróðmarsson, Njáll Fannar Reynisson & Ólafur Freyr Gíslason (2009). Flóð íslenskra vatnsfalla - flóðagreining rennslisraða, Reykjavík: Veðurstofa Íslands

Hilmar Björn Hróðmarsson & Tinna Þórarinsdóttir (2018). Flóð íslenskra vatnsfalla - flóðagreining rennslisraða, Reykjavík: Veðurstofa Íslands

Hilmar Björn Hróðmarsson (2010). Flóð íslenskra vatnsfalla - flóðagreining rennslisraða. Viðbætur 2010, Reykjavík: Veðurstofa Íslands

HM Government (2014). Flood risk and coastal change - GOV.UK. Sótt á:

www.gov.uk/guidance/flood-risk-and-coastal-change#Table-1-Flood-Zones

HM Government (2021). National Planning Policy Framework. Sótt á:

https://www.gov.uk/government/publications/national-planning-policy-framework--2

HSE (2001). Reducing Risks, Protecting People - HSE's Decision Making Process, HSE Books, 74 bls. Sótt á: https://www.hse.gov.uk/risk/theory/r2p2.pdf

HSE á.á. Guidance on ALARP Decisions in COMAH. Sótt á:

http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid_circs/permissioning/spc_perm_37/

IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge and New York: Cambridge University Press

IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press

Jarsve, K. T., Mora, R. Z. O., Frogner, K. E. & Berg, H. (2020). Kartlegging av fare og risiko på elvevifter : klassifisering av elvevifter ved hjelp av geomorfoner og Meltons ruhetsindeks, Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat

Jóna Finndís Jónsdóttir (2008). A runoff map based on numerically simulated precipitation and a projection of future runoff in Iceland. Hydrological Sciences Journal, **53:1**, 100–111

Jónas Eliasson, Ólafur Rögnvaldsson & Trausti Jónsson (2009). Extracting statistical parameters of extreme precipitation from a NWP model. Hydrology and Earth System Sciences, **13**, 2233–2240

Jónas Elíasson (2000). Design values for precipitation and floods from M5 values. Nordic Hydrology, **31**(4/5), 357–372

Jónas Elíasson (2013). Handbók fyrir hönnunarflóð á Íslandi. Sótt á:

http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Flodahandbok_2013/$file/Flodahandbok_2013.pdf

Jongman, Brenden , Philip J. Ward & Jeroen C.J.H. Aerts (2012). Global exposure to river and coastal flooding: Long term trends and changes, Global Environmental Change, **22,** 4, 823–835, ISSN 0959-3780. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.07.004

Jonkman Bas, Pieter van Gelder & Han Vrijling (2002). An overview of quantitative risk measures and their application for calculation of flood risk. Birt í: ESREL 2002 European Conference

Kalsnes, B., Solheim, A., Sverdrup-Thygeson, K., Dingsør-Dehlin, F., Wasrud, J., Indrevær, K. & Bergbjørn, K. (2021). Flom og skred – sikrings behov for eksisterende bebyggelse (FOSS), Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat

Kristinn Guðmundsson (1993). Flóð þrettán vatnsfalla. Reykjavík: Orkustofnun Vatnsorkudeild

Kristín Martha Hákonardóttir, Tómas Jóhannesson & Peter Sampl (2005). Líkanreikningar á jökulhlaupum niður suðurhlíðar Eyjafjallajökuls. Birt í: Magnús Tumi Guðmundsson og Ágúst Gunnar Gylfason (ritstj.), Hættumat vegna eldgosa og hlaupa frá vestanverðum Mýrdalsjökli og Eyjafjallajökli. Reykjavík: Ríkislögreglustjórinn og Háskólaútgáfan, 181–196

Kristján Jónasson, Sven Þ. Sigurðsson & Þorsteinn Arnalds (1999). Estimation of Avalanche Risk. Reykjavík: Veðurstofa Íslands, rit 99001

Lawrence, D. (2016). Klimaendring og framtidige flommer i Norge. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat

Lög um almannavarnir nr. 82/2008

Lög um Bjargráðasjóð nr. 49/2009

Lög um breytingu á lögum um varnir gegn snjóflóðum og skriðuföllum nr. 92/2017

Lög um Náttúruhamfaratryggingu Íslands nr. 55/1992

Lög um varnir gegn snjóflóðum og skriðuföllum nr. 49/1997

Lög um varnir gegn snjóflóðum og skriðuföllum nr. 127/2014

Lög um Veðurstofu Íslands nr. 70/2008

Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir & Björn Oddsson (2015). Sólheimajökull: Hættumat vegna lítilla og meðalstórra jökulhlaupa. Reykjavík: Jarðvísindastofnun Háskólans, Skýrsla: RH-02-2015

Magnús Örn Sigurðsson (2020). Að búa sig undir breyttan heim – Aðlögun vegna loftslagsvár í ljósi stefnumótunar og stjórnarhátta, Reykjavík: Loftslagsráð

María Theodórsdóttir (2008). Neðri hluti Hvítár í Borgarfirði - kortlagning flóðs, Reykjavík: Vatnamælingar

Massad, A.-G.R. Petersen, G.N., Björnsson, H., Roberts, M.J & Þórarinsdóttir, T. (2022). Extreme precipitation in Iceland: Climate projections and historical changes in precipitation type, í útgáfu

Massad, A.-G. R., Petersen, G.N., Þórarinsdóttir, T. & Roberts, M.J. (2020). Reassessment of precipitation return levels in Iceland, Reykjavík: Veðurstofa Íslands

Moel, H., Huizinga, J. & Szewczyk, W. (2017). Global flood depth-damage functions : methodology and the database with guidelines

Moftakhari, H.R., AghaKouchak, A., Sanders, B.F., Allaire, M. & Matthew, R.A. (2018). What is nuisance flooding? Defining and monitoring an emerging challenge. Water Resources Research, 54, bls. 4218–4227

Mostert, E. & Junier, S.J. (2009). The European flood risk directive: challenges for research. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, **6**, 4961–4988

Moudrak, N. & Feltmate, B. (2017). Preventing Disaster Before It Strikes: Developing a Canadian Standard for New Flood-Resilient Residential Communities. Waterloo: Intact Centre on Climate Adaptation, University of Waterloo

MSB, á.á. Översvämningsportalen. Sótt á:

https://gisapp.msb.se/Apps/oversvamningsportal/avancerade-kartor/hot-och-riskkartor/goteborg.html

Náttúruhamfaratrygging Íslands (2022). Gögn um tjónabætur vegna vatnsflóða

Nawry, N. Bolli Pálmason, Guðrún Nína Petersen, Halldór Björnsson og Sigurður Þorsteinsson (2017). The ICRA atmospheric reanalysis project for Iceland, Reykjavík: Veðurstofa Íslands

Natural Environment Resource Council (NERC). (1975). Flood Studies Report (FSR), Vol. II.

Norén, V., Hedelin, B., Nyberg, L. & Bishop, K. (2016). Flood risk assessment – Practices in flood prone Swedish municipalities. International Journal of Disaster Risk Reduction, **18**, 206–217

Norges vassdrags- og energidirektorat (2020). Produktark: Flom aktsomhetsområder

NOU (1996). Tiltak mot flom. Sótt á:

https://www.regjeringen.no/contentassets/21e6f5f6fe424757a8d418a33259c223/no/pdfa/nou199619960016000dddpdfa.pdf

NVE (2022). NVE Flomsone. Sótt á: https://temakart.nve.no/link/?link=flomsone

Nye J.F. (1976). Water flow in glaciers: jökulhlaups, tunnels and veins. Journal of Glaciology, 17(76), 181–207

Ofanflóðanefnd (2010). Ofanflóðanefnd Skýrsla um starfsemi nefndarinnar 2002–2008, Reykjavík: Umhverfisráðuneytið

Papagiannaki, K., Petrucci, O., Diakakis, M., Kotroni, V., Aceto, L, Bianchi, C., o.fl. (2022). Developing a large-scale dataset of flood fatalities for territories in the Euro-Mediterranean region, FFEM-DB. Sci Data 9, 166 (2022). doi.org/10.1038/s41597-022-01273-x

Paprotny, D., Sebastian, A., Morales-Nápoles, O. & Jonkman, S.N. (2018). Trends in flood losses in Europe over the past 150 years. Nature Communications, May.Issue 9

Páll Jónsson, Eva Bourgault, Kristinn Guðmundsson, Heiðrún Guðmundsdóttir & Svanur Pálsson (1999). Flóð íslenskra vatnsfalla. Flóðagreining rennslisraða. Reykjavík: Orkustofnun

Peereboom, I.O., Waago, O.S. & Myhre, M. (2011). Preliminary Flood Risk Assessment in Norway, Oslo: Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE)

Penning-Rowsell, E., P. Floyd, D. Ramsbottom & S. Surendran (2005), Estimating injury and loss of life in floods: A deterministic framework. Natural Hazards, **36**, 43–64

Reglugerð um landsskipulagsstefnu nr. 1001/2011

Reglugerð um Náttúruhamfaratryggingu Íslands nr. 700/2019

Roberts, M., Pálsson, F., Gudmundsson, M., Björnsson, H. & Tweed, F. (2005). Ice–water interactions during floods from Grænalón glacier-dammed lake, Iceland. Annals of Glaciology, **40**, 133–138. doi:10.3189/172756405781813771

Samgöngu- og sveitarstjórnarráðuneytið (2017). Staða og framtíð íslenskra sveitarfélaga. Reykjavík: Samgöngu- og sveitarstjórnarráðuneytið

Sigríður Sif Gylfadóttir, Tinna Þórarinsdóttir, Emmanuel Pagneux & Bogi Brynjar Björnsson (2017). Hermun jökulhlaupa í Jökulsá á Fjöllum með GeoClaw. Reykjavík: Veðurstofa Íslands. Skýrsla VÍ 2017-004

Sigurður Lárus Hólm & Snorri Páll Kjaran (2005). Reiknilíkan fyrir útbreiðslu hlaupa úr Entujökli, Birt í: Magnús Tumi Guðmundsson og Ágúst Gunnar Gylfason (ritstj.), Hættumat vegna eldgosa og hlaupa frá vestanverðum Mýrdalsjökli og Eyjafjallajökli. Reykjavík: Ríkislögreglustjórinn og Háskólaútgáfan, 197–210

Sigurjón Rist, 1990. Vatns er þörf. Reykjavík: Bókaútgáfa Menningarsjóðs

Smith, L. og Priestley, S. (2016). Planning and flood risk, London: House of Commons – Library

Skipulagslög nr. 123/2010

Skipulagsreglugerð nr. 90/2013

Skipulagsstofnun (2016). Landsskipulagsstefna 2015–2026. Sótt á:

https://www.landsskipulag.is/media/pdf-skjol/Landsskipulagsstefna_2015-2026_asamt_greinargerd.pdf

Sveitarstjórnarlög nr. 138/2011

Surendran, Gibbs, Wade & Udale-Clarke (2008). Supplementary note on flood hazard ratings and thresholds for development planning and control purpose – Clarification of the Table 13.1 of FD2320/TR2 and Figure 3.2 of FD2321/TR1. Sótt á:

http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=FD2321_7400_PR.pdf

SYKE á.á. Flood Map Service. Sótt á:

https://paikkatieto.ymparisto.fi/tulvakartat/Viewer/Viewer.html?configBase=https://paikkatieto.ymparisto.fi/Geocortex/Essentials/REST/sites/TulvakarttapalveluEN/viewers/HTML5/virtualdirectory/Resources/Config/Default/

TEK17 (2017). § 7-2. Sikkerhet mot flom og stormflo. Sótt á:

https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/7/7-2/

Tellman, B., Sullivan, J.A., Kuhn, C. Kettner, C.S. Doyle, G.R. Brakenridge, T.A. Erickson & D.A. Slayback (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. Nature 596, 80–86. doi.org/10.1038/s41586-021-03695-w

Tinna Þórarinsdóttir, Bergur Einarsson, Matthew J. Roberts & Einar Hjörleifsson (2020). Áhættureikningar vatnsflóða og jökulhlaupa: Notkun aðferðafræði frá DEFRA við áhættumat á Íslandi, Reykjavík: Veðurstofa Íslands, greinargerð TTh/ofl/2020-01

Tinna Þórarinsdóttir, Matthew J. Roberts, Jón Elvar Wallevik, Bogi Brynjar Björnsson & Andréa-Giorgio R. Massad (2021). Hættumat vatnasviða: Eyjafjarðará, Héraðsvötn, Hvítá í Borgarfirði, Lagarfljót og Skjálfandafljót. Reykjavík: Veðurstofa Íslands, greinargerð TTh/ofl/2021-01

Tómas Jóhannesson (2001). Náttúruhamfarir á Íslandi. Birt í: Orkuþing 2001. Orkumenning á Íslandi. Grunnur til stefnumótunar. María J. Gunnarsdóttir, ritstj. Reykjavík: Samorka, 238–2446

Tómas Jóhannesson (2002). Propagation of a subglacial flood wave during the initiation of a jökulhlaup. Hydrological Sciences Journal, **47**(3), 417–434

Trausti Jónsson (2002). Hættumat og hlutverk Veðurstofunnar í ljósi hættumatsramma Alþjóðaveðurfræðistofnunarinnar. Reykjavík: Veðurstofa Íslands

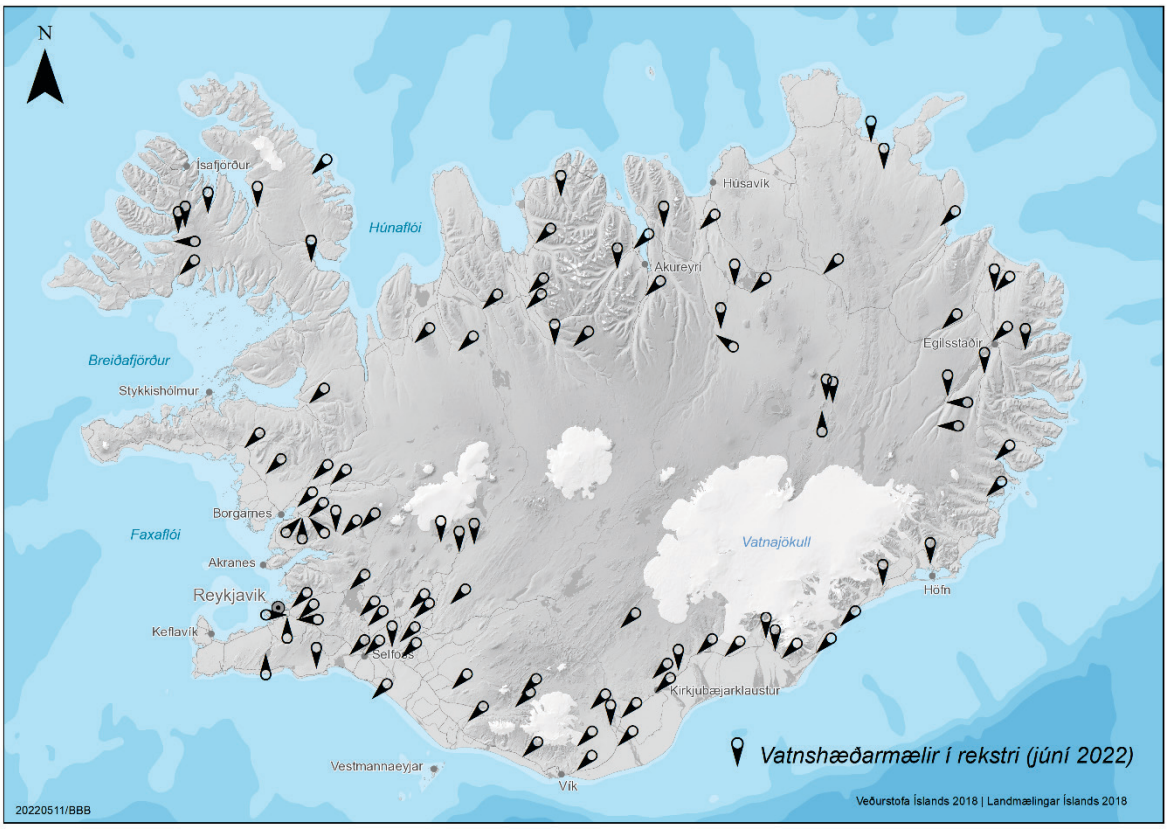
Trausti Jónsson (2018). Náttúruhamfarir, hættumat og hættumatsrammi Alþjóðaveðurfræðistofnunarinnar. Sótt á: trj.blog.is/blog/trj/entry/2223404/

Umhverfisráðuneytið (2000). Reglugerð nr. 505/2000 um hættumat vegna ofanflóða, flokkun og nýtingu hættusvæða og gerð bráðabirgðahættumats

UNISDR (2009). UNISDR terminology on disaster risk reduction. Sótt á:
https://www.undrr.org/publication/2009-unisdr-terminology-disaster-risk-reduction
UNDRR (2021). Policy brief: Disaster risk reduction and climate change. Sótt á:
https://www.undrr.org/publication/policy-brief-disaster-risk-reduction-and-climate-change
United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) (2002). Guidelines for reducing flood losses, New York: United Nations - Headquarters (UN)
Vergouwe, R. (2016). The National Flood Risk Analysis for the Netherlands. Rijkswaterstaat VNK Project Office
Verkfræðistofan Vatnaskil (2014). Múlakvísl. Hermun flóða við fyrirhuguð brúarmannvirki og varnargarða og mat á áhrifum hamfaraflóðs á Kötlugarð. Reykjavík: Verkfræðistofan Vatnaskil
WMO (1999, 2006). Comprehensive Risk Assessment for Natural Hazards. WMO/TD- No. 955
WMO (2009). Integrated Flood Management Concept Paper. WMO-No. 1047
Wade, S. Ramsbottom, D., Floyd, P., Penning-Rowsell, E. & Surendran, S. (2005). Risk to people: developing new approaches for flood hazard and vulnerability mapping. Proceedings of the 40th Defra flood and coastal management conference. HR Wallingford, publication HRPP340

Viðauki I. Gögn um vatnafar

Til þess að unnt sé að leggja mat á stærð og tíðni flóða er nauðsynlegt að mæla vatnshæð og rennsli. Rekstur vatnshæðarmæla byggist á því að gögnum um vatnshæð er safnað jafnt og þétt yfir hvern sólarhring. Samband vatnshæðar og stakra rennslismælinga er síðan oftast nær nýtt til þess að varpa vatnshæð yfir í rennsli á hverjum tíma. Vatnshæð er einnig stundum nýtt beint sem viðvörun um yfirvofandi flóðahættu. Með þessu móti er gögnum safnað um rennsli og flóð vatnsfalla vítt og breitt um landið eins og sjá má á mynd 21 sem sýnir staðsetningu vatnshæðarmæla í rekstri Veðurstofunnar. Nokkur fjöldi vatnshæðarmæla er í rekstri hérlendis en á vissum svæðum er minna um mæla og því nauðsynlegt að treysta á líkanreikninga til þess að leggja mat á vatnafar á þeim stöðum. Þess ber að geta að þrátt fyrir að einn vatnshæðarmælir sé í rekstri á ákveðnu vatnasviði, getur vantað mælingar á öðrum stöðum innan vatnasviðsins, enda getur vatnafar á ólíkum stöðum innan saman vatnasviðs verið töluvert ólíkt. Þannig gefur t.d. vatnshæðarmælir neðarlega á vatnasviði upplýsingar um heildarrennsli og þróun vatnafars á vatnasviðinu í heild sinni, en gagnast lítið til viðvörunar við flóðtoppi sem þarf að varast.

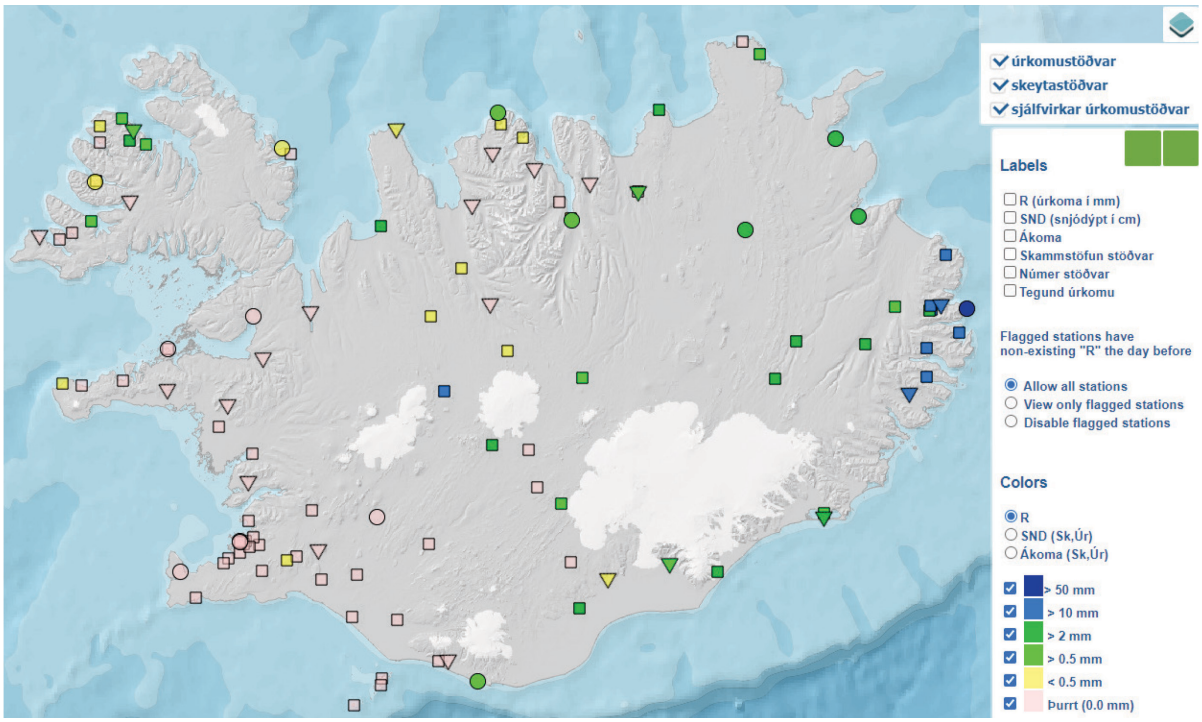


Mynd 21. Vatnshæðarmælar í rekstri Veðurstofu Íslands í júní 2022.

Þegar búið er að mæla og safna saman vatnshæðar- og rennslisgögnum eru þau m.a. nýtt til þess að leggja mat á stærð og tíðni flóða. Mikilvægt er að huga að gæðum gagna og lengd gagnaraða. Aðstæður í umhverfi vatnshæðarmæla geta haft umtalsverð áhrif á gæði þeirra gagna sem aflað er, s.s. þar sem mæliþversnið eru óstöðug vegna framburðar eða vegna íss í ám. Ákaflega mikilvægt er að vatnshæðarmælar séu í rekstri yfir lengri tíma svo að unnt sé að greina þróun vatnafars og endurkomutíma flóða. Þess ber að geta að mögulegt er að herma rennsli og afrennsli með vatnafræðilíkönum og hefur afrennsliskort verið unnið fyrir landið allt (Jóna Finndís Jónsdóttir, 2008). Vatnshæðarmælakerfið nær aðeins yfir hluta vatnsfalla og getur því skipt sköpum að unnt

sé að leggja mat á stærð og tíðni flóða með notkun vatnafræðilíkana eða öðrum aðferðum. Líkönin eiga þó oft erfitt með að líkja eftir rennslistoppum og nauðsynlegt er að kvarða þau út frá mælingum. Því er ljóst að þrátt fyrir miklar tækniframfarir er ekkert sem kemur í stað beinna vatnamælinga.

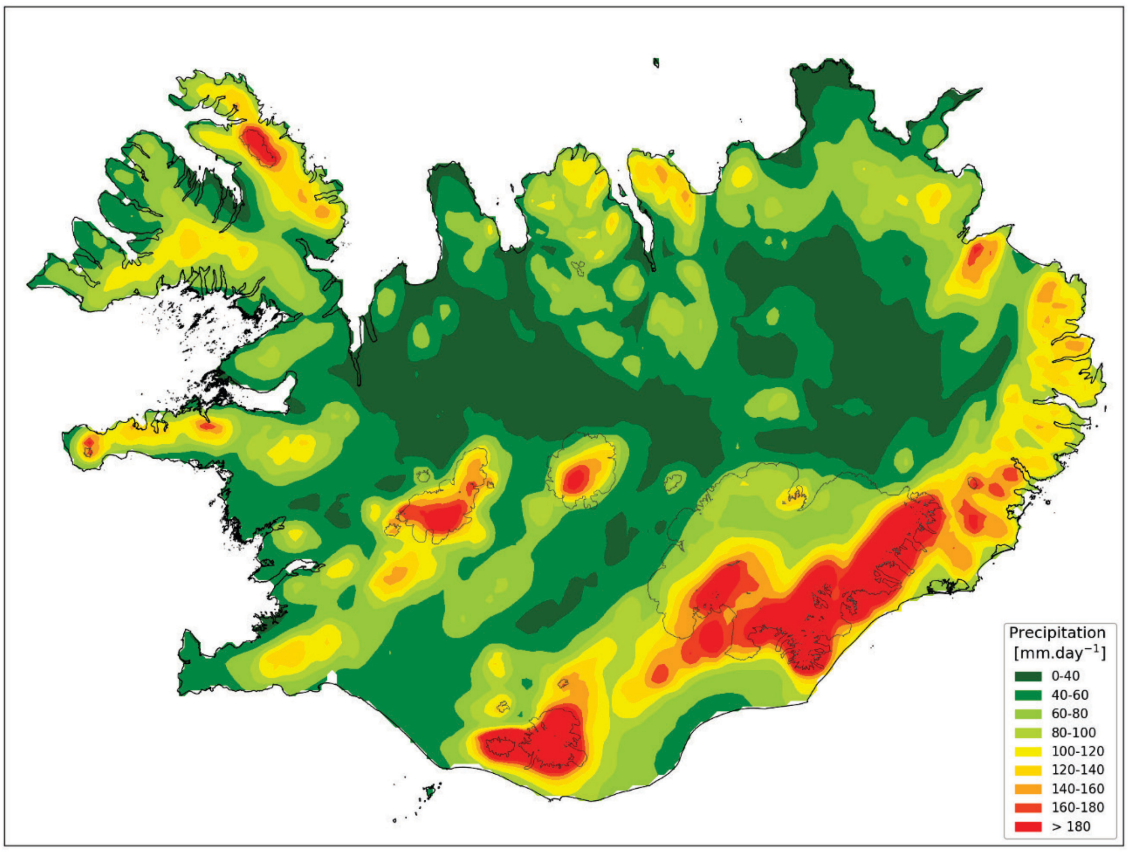
Dæmi um flóð sem verða gjarnan utan vatnshæðarmælakerfisins eru skyndiflóð. Skyndiflóð verða gjarnan í gríðarmikilli úrkomu, oft í bröttum hlíðum þar sem rennsli lækja margfaldast á skömmum tíma. Þessi flóð geta ekki síður valdið tjóni en önnur stærri veðurháð flóð. Úrkomuspár og greining á endurkomutíma úrkomu eru gjarnan nýtt til þess að greina og spá fyrir um skyndiflóð. Úrkomumælakerfið lýtur að mörgu leyti sömu lögmálum og mælanet vatnshæðarmælanna, þ.e.a.s. það er víða nokkuð gott, en þó eru svæði þar sem vantar mælingar, og miklu máli skiptir að gagnaraðirnar nái yfir sem lengst tímabil til þess að greina megi endurkomutíma. Á mynd 22 má sjá kort yfir úrkomumæla Veðurstofu Íslands. Líkt og með vatnshæðarmælana er mögulegt að villur slæðist inn í úrkomumælingarnar, einkum vegna áhrifa vinds, sem getur dregið úr því magni úrkomu sem safnast í mælinn. Þekkt er að úrkoma sem fellur sem snjór mælist verr en rigning.



Mynd 22. Úrkomustöðvar í rekstri Veðurstofu Íslands í júní 2022.

Vegna flókins landslags er oft mikill staðbundinn breytileiki í úrkomu og því oft ekki nægilega nákvæmt að miða greiningu á endurkomutíma úrkomu við úrkomumæli sem staðsettur er í mikilli fjarlægð frá þeim stað sem skal greina eða í annarri hæð/öðruvísi landslagi. Í slíkum tilfellum er oft notast við líkanreiknuð gögn en svokölluð 1M5 kort hafa einnig mikið verið notuð hérlendis. 1M5 kort sýna fimm ára endurkomugildi hámarksúrkomu yfir sólarhring og byggja á vinnu NERC (1975) um samhengi úrkomumagns og endurkomutíma. Hérlendis hafa þessi kort verið unnin fyrir greiningu á aftakaúrkomu (Jónas Elíasson o.fl., 2009) og fyrir greiningu hönnunarflóða (Jónas Elíasson, 2000; 2013). Þessi upprunalegu 1M5 kort eru byggð á upplýsingum frá 73 veðurstöðvum ásamt líkanreiknuðum gögnum á 8 × 8 km reiknineti (Jónas Elíasson o.fl., 2009). Í skýrslu (Massad o.fl., 2020) er útreiknuð úrkoma úr íslensku endurgreiningunni (Nawry, o.fl., 2017) notuð til þess að meta endurkomutíma úrkomu í þéttriðnu neti yfir landinu, sjá mynd 23. Útreikningarnir eru gerðir í 2,5 × 2,5 km neti og vistaðir á 1 klukkustundar fresti fyrir tímabilið september 1979 til

ágúst 2017. Einnig eru notaðar sjálfvirkar úrkomumælingar frá 49 stöðvum sem allar hafa mælt samfellt í yfir 10 ár. Í skýrslunni er birt ný útgáfa af 1M5 korti sem byggir þannig á gögnum í hærri upplausn en fyrra kort. Endurbætt 1M5 kort sem byggir á sólarhringsúrkomu fyrir fljótandi 24 stunda tímabil hefur einnig verið unnið (mynd 23) sem og annað sem sýnir hæsta gildi næstu níu reiknipunkta. Þessi endurbættu kort eru talin nýtast vel við hönnun mannvirkja hvað varðar úrkomu og afrennsli þar sem þau sýna betur möguleg hæstu gildi en kort sem byggja á daggildum. Þess má einnig geta að önnur gögn geta reynst mikilvæg og oft á tíðum nauðsynleg við hættu- og áhættumat vegna flóða s.s. kortlagning útbreiðslu fyrri flóða og landhæðargögn í hárri upplausn.



Mynd 23. Endurbætt 1M5 kort sem byggir á sólarhringsúrkomu fyrir fljótandi 24 stunda tímabil (Massad o.fl., 2020).

Viðauki II. Endurkomutími flóða

Endurkomutími segir til um hversu líklegt er að flóð af ákveðinni stærð verði á tilteknum tíma. Endurkomutími gegnir veigamiklu hlutverki í hættu- og áhættumati flóða þar sem að með honum eru settar fram líkur þess að flóð af ákveðinni stærð verði á tilteknu tímabili, jafnvel þó ekki sé hægt að spá fyrir um hvenær þau gerast. Gjarnan er talað um flóð með tiltekinn endurkomutíma, s.s. 100 eða 200 ár, en það þýðir þó ekki að flóð muni endilega verða á 100 eða 200 ára fresti. Fyrir flóð með 100 ára endurkomutíma er átt við að 1% líkur eru á því að flóð af ákveðinni stærð eða stærra verði á tilteknu ári en yfir 100 ára tímabil getur þó hent að flóðið verði aldrei, einu sinni eða jafnvel oftar. Þannig eru 2% líkur á hverju ári að flóð með 50 ára endurkomutíma verði og 10% líkur á að flóð með 10 ára endurkomutíma verði. Flóð með 10 ára endurkomutíma er tífalt líklegra á ákveðnu tímabili en flóð með 100 ára endurkomutíma.

Ákveðin tilfelli flóða eru oft nýtt til viðmiðunar í hættu- og áhættumati vatnsflóða. Við val á slíkum viðmiðunarflóðum er oftast horft til endurkomutíma, t.d. 20, 200 og 1000 ára flóð. Þess eru þó dæmi að viðmiðunarflóð sé valið t.d. út frá ummerkjum um flóð sem hefur orðið áður en mælingar hófust en ef nýta á viðmiðunarflóð til þess að segja til um áhættu er nauðsynlegt að leggja mat á endurkomutíma flóðsins.

Endurkomutími flóða er metinn með tíðnigreiningu á rennslisröðum ef til eru nægilega góð gögn yfir nógu langan tíma. Mögulegt er að áætla stærð flóða með lengri endurkomutíma heldur en tímabilið sem rennslisröðin nær yfir. Í þeim tilfellum er rennslisröðin nýtt til þess að meta sennilega líkindadreifingu flóða í vatnsfallinu og stuðla hennar. Líkindadreifingin er svo nýtt til þess að framreikna stærð flóða með vissan endurkomutíma. Gera má ráð fyrir að útreikningarnir verði áreiðanlegri eftir því sem tímaröð rennslisins er lengri. Því er mikilvægt að halda áfram mælingum á þeim stöðum þar sem rennslisgæfir vatnshæðarmælar eru í rekstri til þess að safna sem lengstum rennslisröðum fyrir mat á endurkomutímum. Til þess að unnt sé að reikna endurkomutíma flóða þarf að greina tiltæk rennslisgögn og ákveða hvort nýta á hæsta flóð hvers árs eða öll flóð yfir ákveðinni lágmarksstærð (þröskuldsgildi). Hérlendis hafa dæmi sýnt að lítill munur er á milli aðferðanna þegar skoðuð eru flóð með meira en 10 ára endurkomutíma (Kristinn Guðmundsson, 1993). Flóðagreining hefur verið unnin reglulega á rennslisröðum helstu vatnshæðarmæla (Kristinn Guðmundsson, 1993; Páll Jónsson o.fl., 1999; Hilmar Björn Hróðmarsson, 2010; Hilmar Björn Hróðmarsson o.fl., 2009; 2018)

Í þeim tilfellum þar sem rennslisraðir eru ekki nægilega langar eða áreiðanlegar má leggja mat á endurkomutíma flóða með hermdum rennslisröðum úr afrennslislíkönum. Þessar hermdu rennslisraðir geta nýst til þess að fylla upp í eyður mældra rennslisraða sem og til þess að lengja þær. Nokkur verkefni hafa verið unnin hérlendis þar sem lagt er mat á tíðni flóða á stöðum þar sem hvorki mældar né líkanreiknaðar rennslisraðir eru tiltækar. Sú vinna byggist á því að greina flóðatölfræði vatnafarslega einsleitra svæða og yfirfæra svæðisbundna flóðatíðnigreiningu af svæðum með tiltækum rennslisröðum yfir á svæði án mælinga eða líkanreikninga (Crochet, 2012). Svæðisbundin flóðatíðnigreining hefur verið prófuð á svæðum með mismunandi land- og vatnafræðilega eiginleika og með því að tengja saman mældar rennslisraðir og líkanreiknaðar rennslisraðir (Crochet, 2015; Crochet og Tinna Þórarinsdóttir, 2014; 2015).

Mikil óvissa getur falist í útreikningum á endurkomutíma. Óvissan getur bæði legið í gögnunum sem notuð eru eða aðferðafræðinni við útreikning á endurkomutíma. Framreikningar eru meiri eftir því sem greina á flóð með lengri endurkomutíma miðað við lengd rennslisraðarinnar. Mat á hamfaraflóðum, með t.d. 1000 ára endurkomutíma út frá rennslisröðum sem ná einungis yfir nokkra áratugi, getur því verið mjög óvisst.

Huga þarf að loftslagsbreytingum við mat á endurkomutímum því þær geta haft áhrif á tíðni og stærð flóða (Halldór Björnsson o.fl., 2018; IPPC, 2021). Enn fremur getur stærð og útbreiðsla flóða breyst mikið með þéttbýlisþróun og innviðauppbyggingu. Það getur því verið æskilegt að taka tillit til þessara þátta við útreikninga á endurkomutímum og endurmeta útreikningana reglulega til þess að tryggja að niðurstöður endurspegli þær breytingar sem verða, bæði í loftslagi, innviðum og öðrum þáttum sem hafa áhrif á flóð.

Endurkomutími er jafnan metinn staðbundið á þeim stað þar sem mælingar gilda, t.d. út frá rennslisröð ákveðins vatnshæðarmælis. Flóð geta þó orðið af ólíkum orsökum á mörgum öðrum stöðum innan tiltekins vatnasviðs. Metinn endurkomutími við vatnshæðarmælinn er því ekki endilega lýsandi fyrir endurkomutíma flóðs annars staðar innan vatnasviðsins. Þannig geta t.d. ísstíflur komið fram það langt fyrir neðan mælistaðinn að bakvatnsáhrifin nái ekki að honum, eða að rennslið í þveránni sem mælt er í hafi aðra eiginleika en er í farvegi aðalárinnar. Gott dæmi um þetta eru Héraðsvötnin í Skagafirði, en Svartá í Skagafirði er lindá og sýnir því ekki endilega sama flóðamynstur og Norðurá sem er dragá, þrátt fyrir að bæði vatnsföllin tilheyri vatnasviði Héraðsvatna. Þess vegna getur falist óvissa í því að nota rennslisröð frá einum mæli til þess að meta endurkomutíma flóða innan tiltekins vatnasviðs í heild.

Viðauki III. Birting upplýsinga á áhættumatskortum

Eftirfarandi er örstutt lýsing á helstu upplýsingum um heilsufar og efnahag sem birtar eru á áhættumatskortum í nokkrum löndum Evrópu.

Austurríki

Heilsufar: Opinber gögn yfir alla skráða íbúa í húsnæði eru notuð. Gögn flokkuð fyrir 0–50 íbúa, 51–500 íbúa, 501–5000 íbúa og yfir 5000 íbúa.

Efnahagur: Innviðir sem sýndir eru á kortum eru eftirfarandi: lestarteinar, lestarstöðvar, þjóðvegir, spítalar, elliheimili, skólar, leikskólar, flugvellir og hafnir.

Belgía

Heilsufar: Metið á ólíkan hátt eftir svæðum, s.s. fjöldi íbúa á hvern fermetra (reiknað af hverju sveitarfélagi) eða skráning íbúa á hvert heimilisfang.

Efnahagur: Metið á ólíkan hátt eftir svæðum en aðeins fjallað um hvaða gögn eru birt, s.s. gögn yfir fjölda starfsmanna sem verða mögulega fyrir áhrifum flóðs innan hvers sveitarfélags, iðnaðarsvæði, samgöngumannvirki, byggingar bæði í einkaeigu og opinberar.

Bretland

Heilsufar: Í Skotlandi er fjöldi bygginga innan flóðmarka talinn og margfaldað með meðal íbúafjölda á heimili (2,2) og þær upplýsingar flokkaðar í þrjá flokka; 1–50, 51–500 og 501–1000. Í Englandi og Wales hefur verið notast við meðalfjölda á heimili (2,35) fyrir hverja íbúð og flokkað í tvo flokka til þess að birta á kortum; 0–1000 sem er birt með smærri gulum hring og > 5000 sem er birt með stærri rauðum hring. Á Norður-Írlandi er fjöldi íbúða sem lendir innan flóðasvæðis margfaldaður með meðalfjölda á heimili (2,5).

Efnahagur: Metið á ólíkan hátt eftir svæðum. Sem dæmi má nefna þá er lagt mat á efnahagslegt eignatjón í Skotlandi með sambandi milli flóðadýptar og tjóns. Reiknuð er út lengd og gerð vega sem verða fyrir áhrifum af flóðum. Aðeins vegir sem lenda undir dýpra flóðvatni en 0,15 m eru metnir. Fjöldi og lengd járnbrautarlína sem verða fyrir áhrifum eru metin. Beinar skemmdir á landbúnaðarlandi eru metnar með einskiptiskostnaði. Áhrif á landbúnaðarland af völdum flóða eru ekki metin þar sem erfitt er að greina hvaða áhrif grunn og stutt flóð hafa á ræktun.

Danmörk

Heilsufar: Líkur þess að fólk farist í vatnsflóði eru taldar litlar og er því ekki lagt mat á þær sérstaklega. Fjöldi þeirra íbúa sem mögulega verður fyrir beinum áhrifum flóðs er sýndur á kortum.

Efnahagur: Föll sem lýsa tjóni eru notuð fyrir byggingar, uppskeru og búfénað til þess að meta efnahagslegt tjón. Einnig má meta hreinsunarkostnað á hvern fermetra. Fyrir vegi og lestarteina er einungis reiknað með hreinsunarkostnaði en ekki tjóni.

Finnland

Heilsufar: Fjöldi íbúa sem verður mögulega fyrir áhrifum flóða er metinn út frá byggingaskrá (e. *The National Construction and Building Register*).

Efnahagur: Upplýsingar um innviði, s.s. vegi, dreifikerfi orku og fjarskipta, vatns- og fráveitur og mikilvæga samfélagsþjónustu eru sýndar á kortum.

Frakkland

Heilsufar: Fjöldi fólks sem verður fyrir mögulegum áhrifum flóða er ákvarðaður út frá útbreiðslu flóða og upplýsingum um fólksfjölda innan hvers sveitarfélags á reglulegu reiknineti.

Efnahagur: Áhrif á tiltekna eign eru metin í áhættumati ef byggingin er innan flóðmarka og einhver hefur fasta búsetu í henni.

Holland

Heilsufar: Áhætta er metin út frá fjölda íbúa á hverja 100 fermetra. Hááhættusvæði eru færð í áhættulaus svæði ef um svæði með varnarmannvirkjum er að ræða, s.s. skurðum, sem eru mjög algengir í Hollandi.

Efnahagur: Svæði eru greind út frá þéttbýli og dreifbýli þar sem mögulegum flóðasvæðum í dreifbýli er skipt upp í sex flokka út frá jarðgerð. Frekari aðferðafræði er ekki tilgreind.

Ítalía

Heilsufar: Lagt er mat á fjölda íbúa sem mögulega verða fyrir áhrifum flóðvatns innan hverrar landeiningar en í flestum tilfellum er gert ráð fyrir því að innan hverrar landeiningar sé íbúafjöldi jafndreifður.

Efnahagur: Notuð eru gögn yfir Corine landflokkun ásamt gögnum frá mismunandi svæðum eða sveitarfélögum eftir tegund atvinnustarfsemi sem um ræðir. Þeir efnahagslegu þættir sem eru metnir í áhættumatinu eru m.a.: þéttbýlissvæði, atvinnustarfsemi (iðnaðar-, verslunar- og þjónustusvæði), landbúnaðarland, námusvæði, skóglendi, vötn og votlendi. Þekjur með fitjum sem sýna vegi og járnbrautir, opinbera þjónustu s.s. skóla, lestarstöðvar og sjúkrahús eru einnig notaðar.

Svíþjóð

Heilsufar: Á kortum er sýndur íbúafjöldi sem er metinn út frá næturdvöl en í töflum má finna upplýsingar um áætlaðan fjölda fólks á hverjum stað innan flóðasvæðis á dagtíma. Gögnum var safnað saman frá opinberri íbúaskráningu og skráningu vinnustaða. Ferðamenn eru í flestum tilfellum ekki teknir með inn í heildartölu fólksfjölda. Fjöldi íbúa er metinn á reglulegu reiknineti með 250 m möskvastærð (eða 1 km á strjálbýlli svæðum). Fjöldatölum er skipt upp í fjóra flokka sem eru breytilegir milli svæða eftir heildarfjölda fólks innan flóðasvæðis.

Efnahagur: Fjöldi vinnustaða og fjöldi fólks sem áætlað er að staðsett sé innan flóðasvæðis á dagtíma er notaður til þess að greina efnahagslega áhættu vegna flóða. Samgöngur sem teljast þjóðhagslega mikilvægar eru notaðir í greiningu sem og allar byggingar sem hýsa hagræna starfsemi (e. *economic activity*) og eru staðsettar innan flóðasvæðis sviðsmynda. Upplýsingar um flóðhraða og dýpt flóðvatns eru notaðar til þess að meta aðgengi og hættu á tjóni og þar með efnahagslegar afleiðingar flóða. Hætta á tjóni er metin fyrir allar eignir (skipt upp í iðnað og annað), byggingar (skipt upp í félagslega mikilvægar og annað), samgönguinnviði (vegi, lestarteina, brýr, flugvelli, hafnir), rafmagn og vatnsveitur, skóg- og landbúnaðarland.

Tékkland

Heilsufar: Opinber skráning bygginga er notuð til þess að ákvarða fjölda eigna sem staðsettar eru innan flóðasvæðisins. Engar upplýsingar liggja fyrir um fjölda íbúa með fasta búsetu og því er miðað við meðalfjölda íbúa á hverja eign.

Efnahagur: Áhættugreining er unnin út frá svæðum sem talin eru viðkvæm vegna mismunandi þátta s.s. vegna íbúðabyggðar, staða sem taldir eru samfélagslega mikilvægir, samgöngumannvirkja, framleiðslu- og geymslusvæða, íþrótta- og útivistarsvæða, skóga og landbúnaðarlands.

Þýskaland

Heilsufar: Fjöldi íbúa sem hugsanlega verða fyrir áhrifum vegna flóða er ákvarðaður með því að gera ráð fyrir jafnri eða í sumum tilfellum veginni dreifingu á fjölda íbúa innan flóðasvæða.

Efnahagur: Upplýsingar um landnotkun hafa verið kortlagðar og birtar á áhættukortum, þ.á.m. byggð og blönduð nýting, iðnaðarsvæði, samgöngur, landbúnaður og skógrækt.

Viðauki IV. DEFRA áhættureikningar

Hægt er að leggja mat á hlutfall þeirra í prósentum (E) sem stafar hætta af tilteknu flóði með jöfnunni:

$$E = HR \times AV \qquad (3)$$

Í heimildum DEFRA kemur fram að ekki er um eiginlegar prósentur að ræða heldur einungis praktískt mat í ferlinu við útreikning á áhættu fólks vegna vatnsflóða. Í mjög stórum flóðum líkt og stórum jökulhlaupum er straumhraði og vatnsdýpi slíkt að gildið, E, fer yfir 100, þ.e. öllum sem eru á svæðinu getur stafað hætta af flóðinu. Sé gildum hærri en 100 leyft að halda sér koma fram óraunverulegar niðurstöður í seinni jöfnum. Því er notast við E jafnt 100 í áframhaldandi útreikningum fari gildið yfir 100. Til einföldunar eru því jöfnur (4)–(6) umskrifaðar sem fall af E.

Samkvæmt aðferðafræði DEFRA má reikna líkur á því að slasast í tilteknu flóði (P_{inj}) sem:

$$P_{inj} = 2 \times (E/100) \times PV \qquad (4)$$

Fyrir stór flóð þar sem tjónmætti er mikið (E=100), og PV er metið mjög hátt (>0,5) getur jafna (4) gefið niðurstöður > 1. Í þessum tilfellum er P_{inj} sett jafnt og 1 til þess að koma í veg fyrir að fjöldi slasaðra sé metinn meiri en fjöldi fólks á svæðinu.

Til þess að áætla fjölda slasaðra (N_{inj}) á tilteknu svæði má margfalda P_{inj} með N:

$$N_{inj} = P_{inj} \times N = 2 \times (E/100) \times PV \times N \qquad (5)$$

Þar sem N er fjöldi fólks innan þess svæðis sem er til skoðunar.

Eins má reikna líkur á því að látast í atburðinum (P_f):

$$P_f = 2 \times P_{inj} \times (HR/100) = 4 \times (E/100) \times PV \times (HR/100) \qquad (6)$$

Ef unnið er með mjög há HR gildi (HR>50) geta þær aðstæður komið upp að líklegra er að látast en slasast. Hér er því lagt til að að endurskrifa jöfnu (6) á eftirfarandi hátt:

$$P_f = Pinj \times C; \ ef\ C > 1, þá\ C = 1 \qquad (7)$$

Þar sem $C = 2 \times (HR/100)$.

Á sama hátt má áætla fjölda þeirra sem látast (N_f) á tilteknu svæði með því að margfalda P_f með N:

$$N_f = P_f \times N \qquad (8)$$

Þar sem N er fjöldi fólks innan þess svæðis sem er til skoðunar.

Samfélagslega áhættu (S_{ft}) innan þess svæðis sem er til skoðunar má áætla sem:

$$S_{ft} = N_f / A_z \qquad (9)$$

Þar sem A_z er flatarmál þess svæðis sem er til skoðunar.

Árlegar dánarlíkur (S_f) og árlegar slysalíkur einstaklings (S_{inj}) af völdum tiltekins flóðs má þá reikna út með því draga saman upplýsingar um líkur á því að verða fyrir slíku flóði (P_{vh}) og líkur á því að látast (P_f) eða slasast (P_{inj}).

Árlegar líkur á því að verða fyrir tilteknu flóði:

$$P_{vh} = Árleg\ viðvera \times (1/endurkomutími\ flóðs) \qquad (10)$$

Árlegar líkur einstaklings á því að slasast vegna tiltekins flóðs á svæðinu verða þá:

$$S_{inj} = P_{vh} \times P_{inj} \quad (11)$$

Árlegar dánarlíkur einstaklings vegna tiltekins flóðs verða þá:

$$S_f = P_{vh} \times P_f \quad (12)$$

Í jöfnu (10) er til einföldunar reiknað með einu tilteknu flóði í stað líkindadreifingar flóða af mismunandi stærð með endurkomutíma sem lækkar yfirleitt með stærð flóðanna. Miðað er við að valið sé flóð sem er ráðandi um dánarlíkur fyrir viðkomandi tegund flóða eða sviðsmynd og dýpi og straumhraði slíks flóðs notað í áhættureikningum. Áhættureikningarnir hér að ofan eru svo mikil einföldun að þessi aðferðafræði er talin henta. Heildaráhætta einstaklings (A) á svæði þar sem margar óháðar flóðasviðsmyndir eru mögulegar eru hins vegar samanlagðar líkur á því að látast í flóðum af völdum hverrar sviðsmyndar. Í aðferðafræði DEFRA er mælt með notkun fimm flóða eða sviðsmynda að lágmarki í áhættureikningum og þar af skal ein sviðsmyndin hafa 1000 ára endurkomutíma.

$$A = \sum_{i=1}^{n} S_{f_i} \quad (13)$$

Þar sem n er fjöldi sviðsmynda.