

Júní 2021



# Áhrif loftslagsbreytinga á samgöngur - forsendur aðlögunar



Reykjavík 28 júní 2021

**Höfundur:**

Ásta Þorleifsdóttir o.fl.

Unnið í samstarfi við Vegagerðina, Isavia og Samgöngustofu

**Útgefandi:**

Samgöngu- og sveitarstjórnarráðuneytið

**Prentun:**

Rafræn

**Forsíðumynd:**

Stykkishólmshöfn

© 2021 samgöngu- og sveitarstjórnarráðuneyti

ISBN 978-9935-494-21-4

## EFNISYFIRLIT

ÚTDRÁTTUR .....	4
1. AÐLÖGUN AÐ LOFTSLAGSBREYTINGUM .....	6
1.1 Aðlögun samgangna að loftslagsbreytingum.....	7
2. ÁHRIF LOFTSLAGSBREYTINGA Á SAMGÖNGUR.....	10
2.1 Líklegustu áhrif loftslagsbreytinga .....	10
3. HELSTU ÁSKORANIR .....	14
3.1 Sjávarstöðubreytingar.....	14
3.2 Vegasamgöngur .....	17
3.2.1 Aðlögun í vegasamgöngum.....	20
3.3 Hafnir og siglingar .....	21
3.3.2 Aðlögun í siglingum.....	23
3.4 Flug og flugvellir.....	27
3.4.1 Aðlögun í flugi.....	29
4. AÐLÖGUN OG ÁVINNINGUR.....	30
4.1 Fjárfestingar, arðsemi og ávinningur .....	30
4.2 Næstu skref.....	30
4.2.1 Verkefni sem æskilegt er að vinna.....	31
4.2.2 Að byrgja brunninn.....	32

# Útdráttur

Markmið þessarar samantektar er að gefa yfirlit og vekja athygli á hættum sem að samgöngum stafa vegna afleiðinga loftslagsbreytinga, viðbrögðum og aðlögun að þeim. Sjónum er beint að áhrifaþáttum og afleiðingum þeirra en ekki einstaka verkefnum eða kostnaði.




Hraðar umhverfisbreytingar fela í sér miklar áskoranir fyrir samgönguyfirvöld, m.a. í hönnun og skipulagi, forgangsröðun framkvæmda, viðhalds- og þjónustupörf. Áhrif loftslagsbreytinga á samgöngur eru margvísleg og fara þau eftir staðsetningu, tjónnæmi og möguleikum til aðlögunar. Gera þarf skýran greinarmun á aðgerðum til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda annars vegar og aðlögun að afleiðingum þeirra í skipulagi, hönnun, viðhaldi og rekstri samgöngumannvirkja hins vegar. Samkvæmt gildandi samgönguáætlun 2020-2034 skal horft til aðlögunar innviða vegna afleiðinga loftslagsbreytinga og stefnt að því að leita „hagkvæmra leiða til að laga núverandi mannvirki að þessum breytingum með öryggi og notagildi í huga“.

Nauðsynlegt er að bregðast við, kortleggja, meta og mæla áhættu og undirbúa aðlögun samgöngukerfisins að loftslagsbreytingum með vöktun og mildandi mótvægisáðgerðum. Til að vel takist til þarf að skapa vitund um þær áskoranir sem samgöngukerfið stendur frammi fyrir vegna vaxandi loftslagsbreytinga. Samgöngukerfið þarf að vera í stakk búið til að mæta bæði hægfa breytingum og skyndilegum atburðum, svo sem flóðum eða skriðuföllum. Tafir og rof á samgöngum eru líklegri til að valda efnahagslegum skaða umfram skemmdir á mannvirkjunum sjálfum. Nauðsynlegt er að auka skilning á brýnni þörf fyrir mælingar og vöktun svo hægt sé að bregðast tímanlega við hættum sem stöðja að innviðum og notkun á þeim ásamt því að greina veikleika í samgöngukerfinu. Innleiða þarf aðlögunarferla og/eða mótvægisáðgerða við skipulag og hönnun samgöngumannvirkja sem og við viðhald þeirra.

Helstu þættir í loftslagsbreytingum sem bregðast þarf við eru:

- Hlýnun sem hefur margvísleg áhrif, m.a. regn í stað snjókomu, meiri hálkurnir í stað moksturs, auknar blæðingar í slitlagi, meiri gróður og hugsanlega breytt ferðamynstur. Bráðnun jökla, breytt vatnafar og vatnsmagn hefur áhrif á staðsetningu og hönnun brúa og ræsa. Bráðnun sífrera með hættu á aurflóðum og skriðuföllum.
- Úrkoma og veðurkerfi, þ.m.t. aukin úrkomuákefð og veðuröfgar, úrhelli með hættu á flóðum á vegum, skemmdum á brúm og ræsum, skriðuföllum, aur- og snjóflóðum og álagi á fráveitukerfi, sérstaklega í þéttbýli. Tilfærsla veðurkerfa hefur áhrif á ríkjandi vindáttir, vindstyrk, úrkomumynstur og veður, t.d. má gera ráð fyrir tíðara eldingaveðri.
- Sjávarborðshækkun veldur aukinni hættu á sjávarflóðum og meira strandrofi með vaxandi þörf fyrir sjóvarnir, hækkun og styrkingu mannvirkja á lágsvæðum auk þess sem endurmeta þarf hönnunarreglur með jöfnu millibili.

### Dæmi um áhrif loftslagsbreytinga á innviði og þjónustu samgöngukerfisins

			
<b>Hitastig og hlýnun</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hærri meðalhiti, hitabylgjur, þurrkar</li> <li>Tíðari frost-þíðuferli</li> <li>Minni snjócoma, meiri regn</li> <li>Bráðnun sífera</li> <li>Meiri gróður</li> <li>Minni hafís</li> </ul>	<b>Vegir og umferð</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Blæðingar og frostverkun í yfirborði</li> <li>Minni snjómokstur</li> <li>Meiri hálkuvarnir</li> <li>Bráðnandi sífreri</li> <li>Holur og skemmdir í burðarlagi</li> <li>Aukið grjóthrun</li> <li>Gróður og sinubrunar</li> </ul>	<b>Flug og flugvellir</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Blæðingar og skemmdir á flugbrautum</li> <li>Flóð á flugbrautum</li> <li>Lengri flugbrautir eða minni þyngd</li> <li>Meiri þörf fyrir kælingu farms</li> </ul>	<b>Siglingar og skip</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Minni ísmyndun á vetrum</li> <li>Nýjar siglingaleiðir</li> <li>Minni hálkuvarnir</li> <li>Hætta á skemmdum á farmi</li> <li>Meiri orkunotkun vegna kælingar á farmi</li> </ul>
<b>Úrkoma og vindur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Breytingar á úrkomumynstri og tíðni</li> <li>Úrkomuákefð og veðuröfgar</li> <li>Breytingar á ríkjandi vindáttum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flóð og álag á ræsi</li> <li>Skolast úr vegum</li> <li>Grefur frá brúm</li> <li>Aurskriður, skriðuföll, grjóthrun</li> <li>Vindskemmdir</li> <li>Lokanir og tafir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Álag á ofanvatnskerfi</li> <li>Hætta á flóðum og skemmdum á flugbrautum</li> <li>Áhrif á nýtingarhlutfall flugbrauta</li> <li>Tafir á flutningum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flóðahætta, álag á ofanvatnskerfi</li> <li>Ölduhæð og áhlaðandi</li> <li>Skemmdir á mannvirkjum</li> <li>Tafir á flutningum</li> </ul>
<b>Sjávarborð og flóð</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hækkandi meðalhæð sjávar</li> <li>Fleiri aftakaveður, samverkandi þættir</li> <li>Ölduhæð, áhlaðandi, sjógangur og sjávarrof</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flóðahætta á lágsvæðum</li> <li>Rof í vegum vegna ágangs sjávar</li> <li>Aukin hætta á skriðuföllum í bröttum hlíðum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hætta á hálfu á flugbraut</li> <li>Aukin hætta á sjógangi og flóðum</li> <li>Sjávarrof vegna ágangs</li> <li>Tafir á flugi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hækkun á mannvirkjum</li> <li>Skemmdir vegna rofs og ágangs sjávar</li> <li>Aukinn viðhalds- og framkvæmdakostnaður</li> <li>Tafir og lokanir</li> </ul>

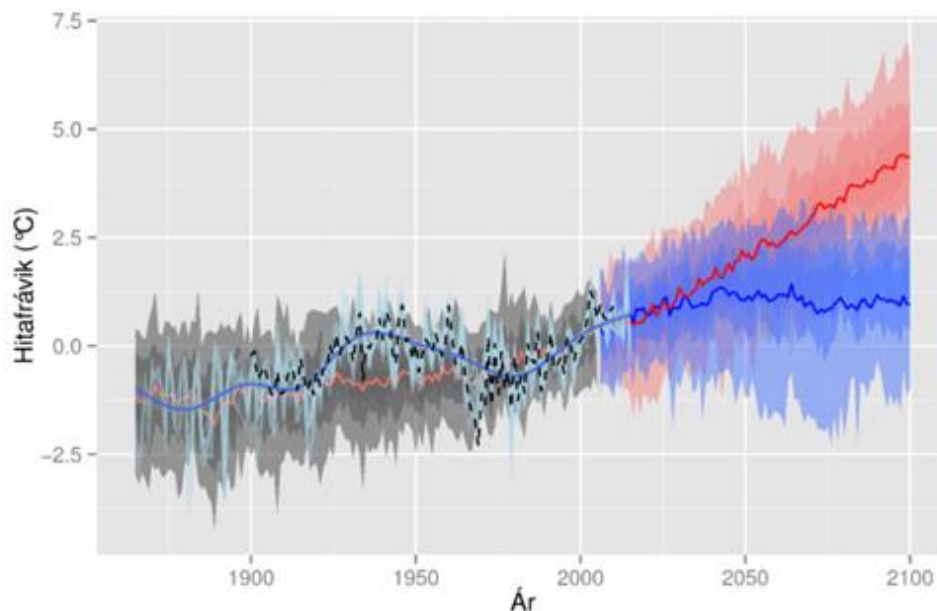
Mynd 1. Helstu áhrif loftslagsbreytinga á samgöngukerfið og þjónustu þess.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Aðlagð og byggt á Climate Change Impacts and Adaptation for International Transport Networks, 2020 <https://unece.org/transport/publications/climate-change-impacts-and-adaptation-international-transport-networks-0>

# 1. Aðlögun að loftslagsbreytingum

Í þessum kafla er að miklu leyti stuðst við alþjóðlega vinnu á vegum Efnahags- og framfarastofnunar Evrópu (UNECE) um áhrif og aðlögun samgangna að loftslagsbreytingum og þær áskoranir sem felast í aðlögun að afleiðingum loftslagsbreytinga.<sup>2</sup>

Samgöngukerfið er grunnstoð samfélagsins. Undir það falla allar framkvæmdir við innviði, viðhald, þjónustu og rekstur sem tryggja greiða og örugga notkun innviðanna, jafnt á landi, sjó og í lofti. Afleiðingar loftslagsbreytinga fela í sér áskoranir fyrir samgöngur um allan heim og birtast nú þegar á margvíslegan hátt. Rof á þjónustu samgangna hafa keðjuverkandi áhrif á alla virkni samfélagsins. Allar mælingar sýna hækkandi meðalhita á jörðinni. Slíkar breytingar hafa áhrif á veðurkerfi, orkan í lofthjúpnum vex og loftraki eykst með vaxandi veðuröfgum og jafnvel breytingum á vindakerfum. Með hækkandi meðalhita hækkar einnig sjávarborð. Flest samgöngumannvirki munu verða fyrir áhrifum af þessum breytingum en þau eru að sjálfsögðu háð því hversu miklar þær verða.



**Mynd 2. Breytingar á meðalhita við yfirborð jarðar fram að aldamótum við Ísland m.v. tvær sviðsmyndir losunar gróðurhúsalofttegunda. Breytingarnar fylgja rauðu línunni með vaxandi losun.<sup>3</sup>**

Aðlögun samgangna snýst um fyrirbyggjandi aðgerðir, ekki hvað síst við hönnun mannvirkja. Til að tryggja tímanleg viðbrögð þarf góða vöktun með mælingum á áhrifaþáttum og aðstæðum á stöðum sem eru viðkvæmir fyrir loftslagsbreytingum. Settar hafa verið fram nokkrar sviðsmyndir um loftslagsbreytingar og áhrif þeirra fram að aldamótum. Áhrif á samgöngukerfið ráðast af því hversu

<sup>2</sup> Climate change impacts and adaptation for international transport networks: Expert Group Report, 2014. [Velegrakis, A. E.](https://digitallibrary.un.org/record/788097?ln=en) o.fl. <https://digitallibrary.un.org/record/788097?ln=en>

<sup>3</sup> Samantekt úr skýrslu vísindanefndar 2018. [https://www.stjornarradid.is/library/02-Rit--skyrslur-og-skrar/Halldor%20Bjornsson\\_Vedurstofa%20Islands\\_Loftslagsbreytingar\\_Loftslagsrad\\_Alogun.pdf](https://www.stjornarradid.is/library/02-Rit--skyrslur-og-skrar/Halldor%20Bjornsson_Vedurstofa%20Islands_Loftslagsbreytingar_Loftslagsrad_Alogun.pdf)

mikil hlýnunin verður. Sem stendur virðist því miður sú sviðsmynd sem gerir ráð fyrir mestum breytingum vera líklegust með umtalsverðri hækkun á sjávarborði og strandrofi.

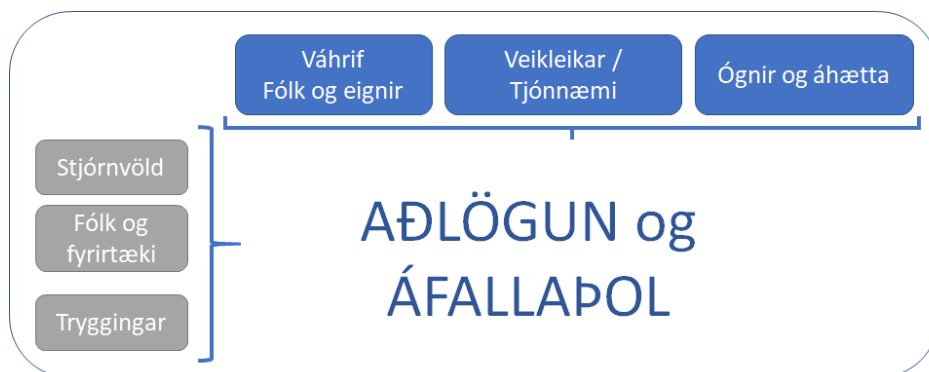
Afleiðingar loftslagsbreytinga fela í sér áskoranir fyrir samgöngur á Íslandi og birtast þær nú þegar á margvíslegan hátt. Mannvirkin hafa mismikla aðlögunarhæfni, háð staðsetningu og tjónnæmi. Með hlýnandi loftslagi eykst orkan í veðurkerfum með auknum veðuröfgum og hækkandi sjávarborði. Auk hærra hitastigs munu verða breytingar á magni, tíðni og ákefð úrkomu, m.a. með flóðum og skriðuföllum. Óvíst er hvort tíðni illviðra breytist á Íslandi, en veður kunna að versna á leiðum til og frá landinu. Afleiðingar loftslagsbreytinga eru og verða háðar aðstæðum og ljóst að kostnaður vegna þeirra mun verða mikill. Eina leiðin til að draga úr áhrifum er með mótvægisáðgerðum og fyrirbyggjandi aðlögun.

## 1.1 Aðlögun samgangna að loftslagsbreytingum

Aðferðafræði aðlögunar byggist á því að greina líklegustu vandamálin fram undan og leita lausna áður en þau raungerast. Vel unnar aðlögunaráætlanir nýtast bæði til að fyrirbyggja eða draga úr áhrifum loftslagsbreytinga sem og annarra náttúruhamfara.

Það er best gert með því að vekja stjórnvöld, hagsmunaaðila og almenning til vitundar um vandann og afla stuðnings við fyrirbyggjandi aðgerðir. Stöðugreining er forsenda aðlögunaráætlunar. Setja þarf fram áætlun sem tryggir vöktun og mælingar á breytum svo hægt verði að bregðast við í tíma með upplýsingum sem nýtast til fyrirbyggjandi aðgerða. Til að búa samfélagið undir möguleg áhrif loftslagsbreytinga er nauðsynlegt að:

1. Horfa til allra þátta; umhverfis, efnahags og samfélags.
2. Auka þekkingamiðlun og samstarf við vísinda- og fræðasamfélagið.
3. Hugsa heildrænt þvert á málaflokka, en það er nauðsynleg forsenda aðlögunar.
4. Skerpa á ábyrgðarskiptingu milli ríkis og sveitarfélaga, almennings og fyrirtækja.
5. Bæta aðgengi að gögnum og upplýsingum sem nýtast við áhættumat og greiningu á veikleikum, váhrifum og tjónnæmi mannvirkja og eru forsendur vel grundaðra ákvarðana um fjárfestingar ríkis, sveitarfélaga og einkaaðila með tilliti til rekstraröryggis.
6. Formfesta framsetningu og verklag við endurskoðun sviðsmynda um áhrifaþætti fyrir mat á líklegum ógnum og áhættu á komandi áratugum.



**Mynd 3. Aðlögun og áfallapol. Að mörgu þarf að huga í aðlögunarferli. Áhrif loftslagsbreytinga eru mismunandi eftir tjónnæmi eða veikleikum innviða.**



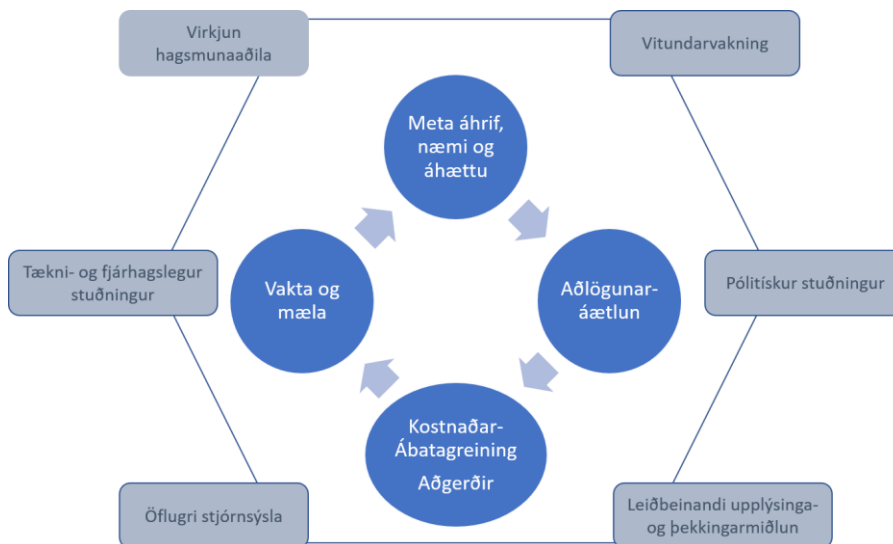
Aðlögun samgöngukerfisins að áhrifum loftslagsbreytinga byggist á sömu forsendum. Til að aðlögun samgöngukerfisins verði sem hagfelldust fyrir samfélagið er nauðsynlegt að:

1. Tryggja stuðning við skýra stefnu.
2. Auka þekkingu á áhrifum og afleiðingum loftslagsbreytinga á samgöngur svo hægt sé að bregðast við og aðlaga kerfið með markvissum hætti að fyrirsjáanlegum breytingum, draga úr skaðlegum áhrifum þeirra og nýta tækifæri sem þær kunna að hafa í för með sér.
3. Vinna að því að skipulag samgöngukerfisins, hönnun mannvirkja og búnaðar sem og áætlanir um þróun og rekstur taki mið af væntanlegum áhrifum loftslagsbreytinga á umhverfi og afleiðingum þeirra.
4. Leita hagkvæmustu leiða við aðlögun mannvirkja að breytingum sem vænta má á líftíma þeirra. Við viðhald og rekstur mannvirkja verði þess gætt að áhrif loftslagsbreytinga skerði ekki öryggi eða notagildi svo að greiðar og öruggar samgöngur séu tryggðar.
5. Veita sérstaka athygli aðgerðum sem bæði fela í sér aðlögun að áhrifum loftslagsbreytinga og kunna samhliða að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda eða auka bindingu þeirra.

*Áherslur og aðgerðir til að ná þessum markmiðum verði m.a.:*

- a. Söfnun gagna og upplýsinga eflað sem og aðgengi að uppfærðum gögnum um breytingar á veðurfars- og umhverfisþáttum.
- b. Áhrif veðurs og tengdra umhverfisþátta á samgöngur og mannvirki skráð á samræmdan hátt (atvikaskráning vegna tjóna og annarra frávíka).
- c. Framkvæmd áhættugreiningar fyrir mikilvæga hluta samgöngukerfisins og áhættumati á grundvelli nýjustu þekkingar viðhaldið.
- d. Sett upp og viðhaldið yfirliti yfir mikilvægustu hluta samgöngukerfisins, mannvirki og staði, sem ætla má að loftslagsbreytingar hafi áhrif á, og tjónnæmi þeirra metið.
- e. Gerð kostnaðar- og ábatagreiningar þar sem valkostir um aðgerðir eru metnir til aðlögunar á grundvelli áhættumats, forgangsröðunar og tímasetningar nauðsynlegra aðgerða.
- f. Regluleg uppfærsla áætlana, staðla og annarra gagna vegna skipulags, hönnunar og reksturs samgangna til að tryggja að þau gögn endurspegli áhrif loftslagsbreytinga.





**Mynd 4. Ytra og innra aðlögunarferli. Í innri hring er aðlögunarferli samgöngustofnana en í þeim ytri eru viðhorf og vakning sem forsenda stuðnings samfélagsins við nauðsynlegar aðgerðir.**

## 2. Áhrif loftslagsbreytinga á samgöngur

Samfélagsleg áhrif loftslagsbreytinga og viðbragða við þeim kunna að verða umtalsverð, bæði vegna kostnaðar við aðlögun og mótvægisáðgerðir, auk alþjóðlegra skuldbindinga. Samgöngukerfið er ein grunnstoða samfélagsins sem mun verða fyrir miklum áhrifum af loftslagsbreytingum. Samgöngukerfið samanstendur af innviðum, viðhaldi og þjónustu við þá sem og notkun.

Undir samgöngur falla:

- Vegakerfið; framkvæmdir, viðhald, eftirlit og þjónusta sem og notkun fólks og fyrirtækja á því.
- Flug og flugvellir; framkvæmdir, viðhald, eftirlit og þjónusta sem og flugið með flugleiðsögn og annarri þjónustu við notendur.
- Siglingar; þ.m.t. hafnir og sjóvarnir, framkvæmdir, viðhald, eftirlit og þjónusta, auk skipanna sjálfra og leiðsögn og eftirlit með skipaumferð.



**Mynd 5. Mikill sjór gekk yfir hafnarmannvirki í Þorlákshöfn árið 1964. Í kjölfarið var hafist handa við endurbætur á sjóvörnum. Með hækkandi sjávarstöðu mun þörfin fyrir slíka aðlögun aukast. ([www.olfus.is](http://www.olfus.is))**

### 2.1 Líklegustu áhrif loftslagsbreytinga

Vaxandi áhersla er á aðlögun samgangna að afleiðingum og áhrifum loftslagsbreytinga. Nú þegar hafa orðið breytingar á veðurfari á landinu. Hækkandi hitastig sést líklega best á vaxandi gróðurfari og breytingum á úrkomu. Áhrif loftslagsbreytinga á samgöngukerfið, innviði og þjónustu birtast á margvíslegan hátt og fara áhrifin eftir staðsetningu, tjónnæmi, tjónþoli og möguleikum til aðlögunar

eða mótvægisáðgerða. Í sumum tilvikum geta staðbundin áhrif verið jákvæð, svo sem aukin orkuframleiðsla vatnsaflsvirkjana í jökulám, eða neikvæð, eins og t.d. áhrif sjávarstöðuhækkunar á fráveitukerfi. Þörf er á nákvæmum mælingum og rannsóknum á ýmsum umhverfisþáttum sem verða fyrir mestum áhrifum víðsvegar um landið svo hægt verði að bregðast við breytingum í tíma. Verkefni fram undan eru mörg og þó að upptalningin hér að neðan sé ekki tæmandi þá gefur hún vísbendingar um hversu stór viðfangsefni næstu áratuga af völdum loftlagsbreytinga kunna að verða.

#### Samgöngumannvirki í þéttbýli.

- Fráveitu- og ofanvatnskerfi, sérstaklega við vegi í þéttbýli, þarf að laga að breytingum þannig að þau geti tekið við auknum sveiflum í vatnsmagni sem og hækkaðri sjávarstöðu. Nauðsynlegt er að taka tillit til þessa við hönnun mannvirkja, þ.m.t.stærð og staðsetningu ræsa.

#### Hækkandi sjávarstaða og breytt ölduhæð.

- Nauðsynlegt er að mæla og vakta sjávarstöðubreytingar við landið, sérstaklega landsig.
- Kortleggja þarf lágsvæði þar sem gera má ráð fyrir fleiri sjávarflóðum og skemmdum vegna ölduvirkni eða rofs.
  - Bæta þarf flóðavarnir og jafnvel koma upp vöktunar- og viðvörðunarkerfum.
  - Skoða þarf áhrif sjávarstöðubreytinga á frárennsli, m.a. ræsi, brýr og þveranir.
  - Hærri sjávarstaða veldur auknu rofi í sæbröttum hlíðum og eykur skriðuhættu.
- Hafnir munu verða fyrir miklum áhrifum af loftslagsbreytingum, en með meiri veðuröfugum eykst flóðahætta.
  - Huga þarf að hönnun hafna til að tryggja öryggi sem best.
  - Umsvif í höfnum geta breyst vegna breytinga á fiskveiðum og/eða flutningum.
- Flugvellir sem liggja lægst verða fyrir áhrifum af hækkaðri sjávarstöðu.
- Meta þarf þarfir og gera ráð fyrir auknum fjármunum í sjóvarnir.

#### Hlýnandi veður.

- Meiri gróður, t.d. trjáplantna, er vaxandi þáttur í viðhaldi og þjónustu.
  - Trjágróður truflar útsýni ökumanna. Rætur valda skemmdum í yfirborði vega og aukin hætta er á gróðureldum og sinubruna.
- Bráðnandi sífreri getur valdið skemmdum í vegum.
  - Á fjallvegum eða vegaköflum stofn- og tengivega sem liggja hærra getur myndast mýrlendi sem getur t.d. valdið sigi og öldum í vegum.
  - Í hlíðum má gera ráð fyrir óstöðugleika með aukinni hættu á aurskriðum og hættu á rofi í vegunum sjálfum.
- Brýr og framburður jökulvatna.
  - Meta þarf ástand brúa, ræsa og tengdra innviða þar sem aukið vatn í fallvötnum á næstu áratugum mun hafa áhrif á brýr og önnur tengd mannvirki.
  - Farvegir jökulvatna breytast þegar jöklar hopa sem getur kallað á ný brúarstæði.
  - Aukið vatnsmagn í jökulám eykur setflutninga við suðurströndina og hefur áhrif á hafnir.

#### Breytingar á veðrakerfum.

- Tilfærsla veðurkerfa getur haft áhrif á ríkjandi vindáttir

- Breytingar á ríkjandi vindáttum eða vindstyrk geta haft áhrif á nýtingarstuðul flugbrauta.
- Breytingar á snjósöfnun og þar með vetrarþjónustu
- Möguleg áhrif á hafnarmannvirki og sem kalla á breytingar á þeim.

#### **Breytt úrkomumynstur - Meiri úrkomuákefð.**

- Aukin flóðahætta allt árið, þ.m.t. hætta á ofanflóðum, þ.e. skriðuföllum, aurskriðum og fyrstu snjóflóðum að vetrum.
- Breytt úrkomumynstur með vetrarhlýnun er talið auka snjókomu norðaustanlands með þjónustuþörf og hættu á ofanflóðum næstu ár og áratugi.
- Mannvirki verða í vaxandi hættu, svo sem brýr og ræsi, með aukinni hættu á rofi í vegum.

#### **Álag, viðhald og þjónusta.**

- Bundið slitlag verður fyrir áhrifum af hlýnun og þ.a.l. aukast líkur á blæðingum og frostskeimmdum.
- Hækkandi hitastig minnkar þörf fyrir snjómokstur en þörf fyrir hálkuvörnir eykst. Spálíkön gera ráð fyrir aukinni úrkomu að vetrum norðaustanlands.
- Álag á samgöngumannvirki gæti aukist fjölgi ferðamönnum ef loftslagsbreytingar valda miklum sumarhitum á helstu markaðssvæðum ferðaþjónustu.

#### **Norðursiglingar.**

- Með minni hafis aukast líkur á siglingum um norðurslóðir. Áhætta og/eða ávinningur óljós.

#### **Tryggingavernd.**

- Hægfara og fyrirséðar breytingar teljast ekki náttúruhamfarir. Gera verður ráð fyrir kostnaði vegna aðlögunar við áætlanagerð.

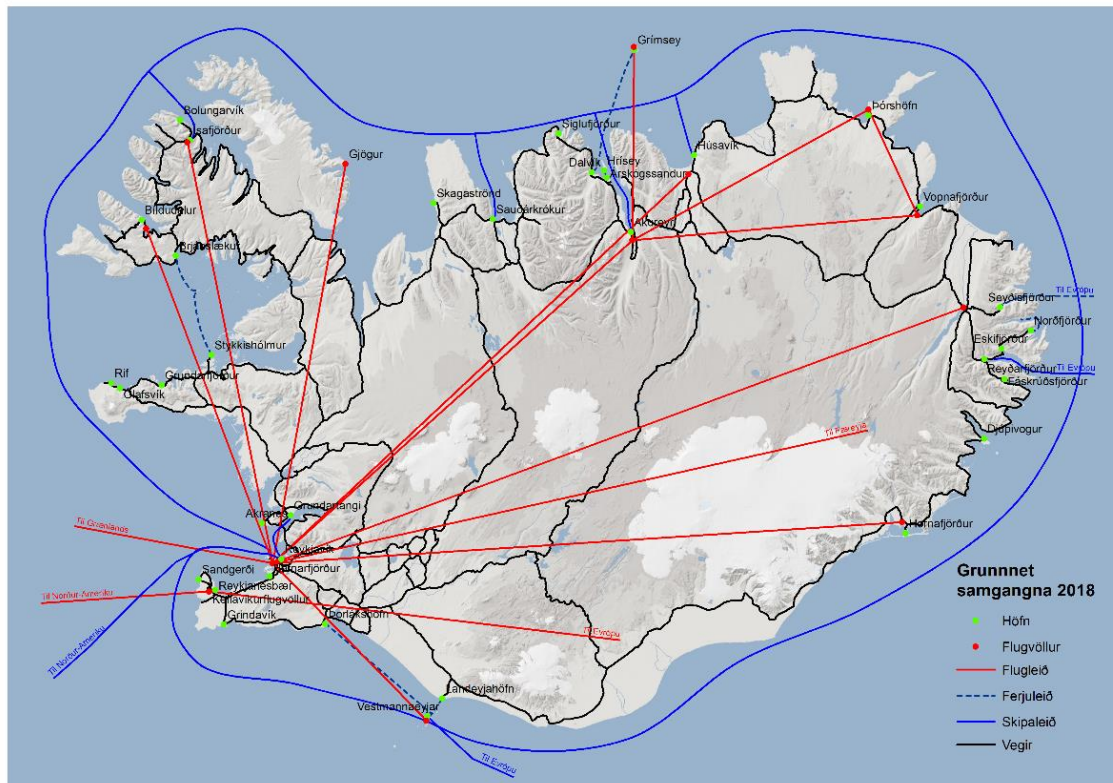
Tafla 1. Yfirlit yfir áhrif loftslagsbreytinga á innviði samgangna í Evrópu.<sup>4</sup>

Gerð samgangna	Innviðir	Loftslagsbreytingar	Áhrif á innviði – hætta
Vegasamgöngur	Vegir	Hærra hitastig	Blæðingar í slitlagi og/eða frostsKemmdir Skemmri líftími slitlags, malbiks og brúa þurrkar og hætta á gróðureldum
		Auknar veðuröfgar, úrkoma og óveður	Skemmdir á vegum, slitlagi og burðarlagi Flóð á vegum, í höfnum og á flugvöllum Óstöðugleiki undirlags Skriðuföll og aurflóð eða snjóflóð Grjóthrun
		Almenn áhrif	Minni ferðahraði Tafir á flutningum Lokanir vega Hærra viðgerðar- og viðhaldskostnaður
	Vegir á strandsvæðum	Hærra sjávarstaða	Skemmdir vegna flóða Rof vegna ágangs Aukin skriðu- og grjóthrunshætta Aukinn kostnaður við sjóvarnir
	Fjallvegir og vegir í hlíðum fjalla	Minna frost í jörðu Bráðnun sífrera	Skriðuföll – óstöðugt undirlag Aurskriður í hlíðum Skemmdir í vegum á hálendi
Flugsamgöngur	Flugvellir	Hlýrri sumur	Skemmri líftími flugbrauta Aukin þörf fyrir kælingu farms
		Aukin úrkoma	Flóðahætta Skemmdir á ræsum og brúm
		Aukin tíðni óveðra	Skemmdir á flugbrautum og akstursreinum vegna flóða Breyttar vindáttir og meiri vindhraði getur haft áhrif á nýtingarhlutfall, m.a. vegna hlíðarvinds. Eldingaveður valda truflunum.
		Hærra sjávarstaða	Flóð á flugbrautum
		Almenn áhrif	Lokun flugvalla Hærra viðhaldskostnaður
Siglingar	Flutningar	Breytingar á sjávarstöðu	Siglingaleiðir kunna að verða fyrir áhrifum vegna breytinga á setmyndun við grynningar
		Breytt skilyrði í hafi	Aukin illviðri og ölduhæð
		Mishitun lofts og sjávar	Breytt tíðni þoku
		Færri frost dagar	Minni vandamál vegna ísingar
		Minni hafis	Nýjar siglingaleiðir Lengra siglingatímabil
	Hafnir	Aukin tíðni illviðra	Skemmdir á höfnum, brimvarnar- og skjólgörðum
		Aukin ölduvirkni	Aukið sjávarrof
		Hærra sjávarstaða	Flóð á hafnarsvæðum og skemmdir Rof á tengibrautum Kostnaður við sjóvarnir
		Lægri sjávarstaða	Dýpi innsiglingar og við kanta of lítið
		Aukin úrkoma	Flóð og skriðuföll
		Nýjar siglingaleiðir	Stækkun/endurnýjun hafna fyrir stærri skip
		Almenn áhrif	Truflun á flutningskerfum Aukinn viðhalds- og viðgerðarkostnaður

<sup>4</sup> Adapting infrastructure to Climate change, Annex 6[https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/adaptation/what/docs/swd\\_2013\\_137\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/adaptation/what/docs/swd_2013_137_en.pdf)

### 3. Helstu áskoranir

Grunnet samgangna á Íslandi fylgir byggðum sem flestar eru við ströndina. Hafnir, vegir og flugvellir á lágsvæðum eru viðkvæmastir fyrir breytingum á sjávarstöðu. Víða liggja vegir um sæbrattar hlíðar eða við fjallsrætur þar sem aukin úrkomuákefð og hlýnun er líkleg til að auka hættu á hruni og flóðum. Sama á við um flóðahættu vegna úrhellis.



**Mynd 6. Með fáum undantekningum eru þéttbýliskjarnar landsins við ströndina. Grunnet samgangna tekur mið af því.**

#### 3.1 Sjávarstöðubreytingar

Engar loftslagsbreytingar munu, alla vega í fyrstu, hafa jafn afgerandi afleiðingar fyrir samgöngumannvirki á Íslandi og hækkun sjávarborðs. Hnatræn hlýnun veldur því að jöklar bráðna og leysingavatnið bætist við í hafið. Því til viðbótar kemur varmaþensla hafsins en í jarðsögunni hefur gjarnan verið notuð sú þumalfingursregla að fyrir hverja gráðu sem lofthiti hækkar, hækki sjávarborð um metra. Mikil óvissa er um hversu hratt varmaþenslan mun hafa áhrif, m.a. vegna þröskulda sem kunna að vera til staðar. Spár vísindamanna um hækkun sjávarborðs birtast í sviðsmyndum *Loftslagsskýrslna IPCC* – Loftslagsnefndar Sameinuðu þjóðanna. Í þeim er gert ráð fyrir að hnatræn hækkun verði á bilinu 1-2 metrar með frávikum háð því hvernig tekst til við að draga úr losun



gróðurhúsalofttegunda.<sup>5</sup> Nýjar rannsóknir benda til þess að sjávarborð muni hækka bæði meira og hraðar en áður var talið vegna varmaþenslu, eða um 1,35 m í stað 1,1 m, líkt og áður var talið.<sup>6</sup>

Hækkun sjávarstöðu er ekki jafnmikil hvar sem er á jörðinni því að aðstæður eru breytilegar. Nokkur óvissa er um hækkun sjávarborðs við Ísland. Víða er landsig við strendur en land rís t.d. á suðausturhorninu. Landsig eykur á áhrif hækkandi sjávarstöðu. Í skýrslu Vísindanefndar 2018 er byggt á kenningu sem gerir ráð fyrir að Ísland muni njóta mikillar sérstöðu vegna þyngdarhrifa Grænlands þegar jökulfarginu léttir svo að hér muni aðeins gæta um 30-40% hinnar hnattrænu hækkunar. Því myndi hækkun sjávarborðs almennt verða á bilinu 30-60 cm, auk þeirra viðbóta sem nú er spáð, sem hefði umtalsverð áhrif á mannvirki á lágsvæðum við strendur. Hafa ber í huga að um er að ræða kenningu því kunniáhrif Grænlands á sjávarstöðu við Ísland að verða minni en kenningin gerir ráð fyrir.

Hækkandi sjávarstöðu fylgir aukin hætta á sjávarflóðum. Mest er hætta þegar saman fara stórstraumsflóð, lágur loftþrýstingur og álandsvindur með áhlaðanda. Í skýrslunni *Sjávarflóð á Íslandi* er að finna gott yfirlit yfir sjávarflóð sem eru algengust á Suður- og Vesturlandi en sjaldgæfust á Austurlandi. Þá eru sjávarflóð mun algengari á veturna en á öðrum árstímum.<sup>7</sup> Hækki sjávarborðið um 30 cm mun flóð sem nú hefur 100 ára endurkomutíma koma að jafnaði á tveggja ára fresti, og gangi það eftir að sjávarstaða hækki um allt að 60 cm gæti 100-200 ára flóðið komið oft á ári í lok aldarinnar. Spár um vaxandi veðuröfgar svo sem í vindhraða og sveiflum í loftþrýstingi geta aukið flóðahættu. Hækkaðri sjávarstöðu fylgir einnig aukið rof við strendur þegar rofmörk vegna öldugangs hækka. Þetta veldur m.a. landbroti, aukinni skriðuhættu í sæbröttum hlíðum, áflæði á lágsvæðum og auknu álagi á mannvirki sem og þörf fyrir mótvegisaðgerðir og aðlögun. Vegna loftslagsbreytinga og afleiðinga þeirra má því búast við vaxandi þörf fyrir hækkun mannvirkja við strendur og til sjóvarna, bæði fyrir byggð og samgönguinnviði, hafnir, vegi og flugvelli við strönd. Í ráðleggingum Vegagerðarinnar um lágmarkslandhæð á lágsvæðum 2018, sem byggja á skýrslu Vísindanefndar 2018, er tekið mið af 100 cm hnattrænni hækkun sjávarborðs til loka aldarinnar, áætluðum jarðskorpuhreyfingum, sjávarföllum og áhlaðanda vegna loftþrýstings, vinds og öldu, auk 30 cm fríborðs gólfhæðar yfir landi. Frá árinu 2020 hefur Vegagerðin í samráði við Veðurstofuna bætt við 35 cm varúðarmörkum vegna óvissu á sjávarstöðuhækkun og framlagi Suðurskautslandsins til sjávarstöðubreytinga á 21. öldinni. Þessar viðmiðanir hafa verið notaðar af skipulagsyfirlöðum undanfarin ár við skipulag á lágsvæðum þar sem hætta er á sjávarflóðum. Gert er ráð fyrir að viðmiðunarreglurnar verði uppfærðar reglulega eftir því sem þekkingu fleygir fram. Faxaflóahafnir gera ráð fyrir 70 cm hækkun sjávarstöðu í nýjum framkvæmdum með 60-70 ára líftíma og að hækkun geti orðið 75-80 cm um næstu aldamót. Hafa ber í huga að á starfssvæði þeirra er einnig marktækt landsig.

Líklegar breytingar á sjávarstöðu að teknu tilliti til landhæðar eru sýndar í töflu 2, miðað við fjórar sviðsmyndir sjávarborðshækkunar á þessari öld. Í sviðsmyndunum er gert ráð fyrir að þyngdarhrif Grænlands lágmarki hnattræn áhrif. Nýjar rannsóknir benda til að þessi áhrif kunni að vera vanmetin

<sup>5</sup> [https://www.vedur.is/media/uncategorized/SROCC\\_Samantekt\\_27092019\\_loka.pdf](https://www.vedur.is/media/uncategorized/SROCC_Samantekt_27092019_loka.pdf)

6 Grinsted, A. og Christensen, J. H.: The transient sensitivity of sea level rise, *Ocean Sci.*, 17, 181-186, <https://doi.org/10.5194/os-17-181-2021>, 2021.

<sup>7</sup> Sjávarflóð á Íslandi, Guðrún Elín Jóhannsdóttir, 2017. [https://www.vedur.is/media/vedurstofan-utgafa-2017/VI\\_2017\\_008.pdf](https://www.vedur.is/media/vedurstofan-utgafa-2017/VI_2017_008.pdf)



þar sem losun gróðurhúsalofttegunda heldur áfram að aukast og því rétt að miða við mestu hækkun við nýframkvæmdir á lágsvæðum.

**Tafla 2. Líkleg áhrif hækkunar sjávarstöðu við næstu aldamót, eftir landshlutum.**

<b>Áætlaðar sjávarstöðubreytingar til aldamóta að teknu tilliti til þyngdarhrifa Grænlands</b>							
Landshluti	Landhæðar- breyting (cm)	Hlutfall af hnattrænni hækkun (%)	Hnattræn hækkun (cm)				
			50	75	100	135	
			Staðbundin hækkun sjávarstöðu (cm)				
SV-land að NV-landi	-20 - -10	30 - 34	25 - 37	33 - 46	40 - 54	51 - 66	
NV-land og innst í fjörðum norðanlands	10 - 30	28 - 30	-16 - 5	-9 - 13	-2 - 20	8 - 31	
A-Tröllaskagi að Flateyjarskaga	-30 - -10	28 - 30	24 - 45	31 - 53	38 - 60	48 - 71	
Skjálfandafloí og Öxarfjörður	0 - 20	30 - 32	-5 - 16	3 - 24	10 - 32	21 - 43	
Melrakkaslétta að Langanesi	0 - 10	32 - 38	6 - 19	14 - 29	22 - 38	33 - 51	
Austurland	0 - 20	38 - 40	-1 - 20	9 - 30	18 - 40	31 - 54	
Suðausturland	100 - 200	20 - 28	-190 - -86	-185 - -79	-180 - -72	-173 - -62	
Suðurland	20 - 40	30 - 32	-25 - -4	-18 - 4	-10 - 12	1 - 23	
Sunnan- og vestanverður Reykjaneskagi	-60 - -20	32 - 34	36 - 77	44 - 86	52 - 94	63 - 106	

Tafla 2 sýnir líklegar sjávarstöðubreytingar (cm) eftir landshlutum sem byggjast á sviðsmyndum um hnattræna hækkun. Gert er ráð fyrir þyngdarhrifum Grænlandsjökuls til lækkunar, að viðbættum lóðréttum breytingum á landhæð. Í dálkum fyrir landsig og hlutfallslega hækkun endurspeglar talnabilið dæmigerð gildi á viðkomandi svæði. Staðbundin hækkun sýnir talnabil mestu og minnstu sjávarstöðubreytingu m.v. landhæð en ekki óvissumat.<sup>8</sup> Nauðsynlegt er að kortleggja þá staði við strendur landsins þar sem mest hætta stafar af hækkaðri sjávarstöðu og aukinni tíðni sjávarflóða og svo að hægt sé að bregðast tímanlega við og fyrirbyggja tjón eða draga úr því.

<sup>8</sup> Vegagerðin. Sigurður Sigurðarson 2021

### 3.2 Vegasamgöngur

Í skýrslum Vegsýnar sem unnar voru fyrir Rannsóknasjóð Vegagerðarinnar árin 2010 og 2012 er mögulegum áhrifum loftslagsbreytinga á vegasamgöngur og vegagerð skipt í fimm meginflokk:

Áhrif hlýnunar á **vetrarþjónustu**. Vetrarþjónustu má skipta í tvo flokka: snjómokstur og háلكuvarnir. Með hækkandi meðalhita má búast við því að úrkoma falli í auknum mæli sem slydda og rigning, ekki síst á láglendi. Þrátt fyrir að það hafi í för með sér minni þörf á snjómokstri eykst þörf fyrir háلكuvarnir þegar hitasveiflur um frostmark verða tíðari.

Áhrif hitastigssveifla á **burðarþol vega og endingu slitlaga**, sérstaklega þegar oft skiptast á frost og þíða. Fjölgun frostþíðusveifla eykur hættu á skemmdum á burðarlagi, t.d. með frostlyftingu, og yfirborðslögum. Skemmdir geta einnig orðið þegar vatn kemst inn í burðarlög vega og frýs. Áhrifin verða mest við mikinn umferðarpunga. Frostþíðusveiflur hafa áhrif á niðurbrot steinefna í vegum og eru slit og skemmdir á burðarlögum vega vegna þungaflutninga mestar á vorin þegar efstu lög vega þíðna, sem og í umhleypingum. Veldur þetta skemmdum í slitlagi og holumyndun. Líklegt er því að aukin úrkoma og hitasveiflur muni hraða niðurbroti vega, sérstaklega þar sem er þungaumferð. Frostveðrun í bergi mun einnig aukast með auknum frostþíðusveiflum í hæð, sem getur aukið skriðumyndun og grjóthrun á vegi.

Áhrif hlýnunar og aukinnar úrkomu á **stöðugleika jarðlaga** eru mikil. Skriðuföll, aurflóð og grjóthrun, sem iðulega eru tengd miklu úrkomuveðri. Þau valda hættu fyrir vegfarendur og truflun á vegasamgöngum, auk þess að valda tjóni á umhverfi og mannvirkjum.



**Mynd 7. Aurskriður munu verða vaxandi vandi meðan sífreri bráðnar í hlíðum sem og í úrhellisrigningum. Myndin sýnir aurskriður í Grænafeili, á Siglufjarðarvegi og í Kollafirði.**

Áhrif hlýnunar á **bráðnun sífrera**. Þættir sem hafa áhrif á sífrera eru auk hlýnunar; snjóþekja, úrkomumynstur, gróður, vatnafar og skýjahula/inngeslun. Í mörgum fjallshlíðum eru leifar urðarjökla grafnar í set sem hingað til hafa silast hægt niður hlíðar, en með hækkandi hitastigi aukast líkur á hraðari bráðnun sem getur valdið aurskriðum. Þá er líklega enn væntanlega sífreri á eða í nágrenni hæstu fjallvega. Þá getur úrkomuákefð samfara hlýindum haft áhrif líkt og ítrekað hefur gerst á síðustu árum, nú síðast á Seyðisfirði þar sem aurflóð ollu verulegum skemmdum á mannvirkjum.

Vaxandi veðuröfgar taka ekki einungis til úrkomu heldur einnig vindhraða. Dæmi eru um að vindstyrkur hafi verið nægilegur til að fletta bundnu slitlagi af vegum, t.d. í Örafum og víðar.



**Mynd 8. Fokskemmdir við Stafá í mars 2015.**

Áhrif úrkomuákefðar á **ræsi og brýr** tengjast einkum rennslistoppum, en loftslagsbreytingar hafa áhrif á ýmsa þætti sem ákvarða stærð þeirra. Má þar nefna úrkomuákefð og snjóalög, sem við skyndilega hlýnun breytast í asahláku. Þá erdreypni yfirborðsins háð gróðurfari og því hvort jörð er frosin eða þiðin. Breytingar á úrkomuákefð, tegund úrkomu og hitasveiflum geta því haft áhrif á ræsi og brýr. Slíkt þarf þó að meta í hverju tilviki fyrir sig en greiningar hingað til hafa ekki gefið tilefni til þess að endurskoða hönnunarforsendur.





**Mynd 9. Vatnsflóð vegna úrhellis eða asahláku valda reglulega skemmdum á vegum. Myndin sýnir rof í vegi við Eskifjarðará og á Hringvegi við Hólmsá.**

Breytingar á meðalrennsli eða ársúrkomu geta haft áhrif á grunnvatnsstöðu sem hefur áhrif á burðarþol vega. Breytingar á vatnafari, svo sem vegna breytinga á jöklum, geta einnig haft áhrif á innviði. Dæmi um þetta er þegar Skeiðará fluttist yfir í farveg Gígjukvíslar og einvörðungu vatn úr Morsá rann undir lengstu brú landsins.<sup>9</sup>

Vegir og önnur vegamannvirki við strendur geta orðið fyrir áhrifum vegna hækkunar sjávarborðs og aukinnar tíðni óveðra með meiri ölduhæð sem aftur leiða til fleiri flóða og meira strandrofs. Þessi áhrif eru mest á strandvegi, á vegfyllingar við sjó, brýr og þveranir fjarða. Þá mun hækkun sjávarstaða auka strandrof í bröttum hlíðum sem getur aukið á grjóthrun og skriðuföll.

Dæmi um staði sem huga þarf að eru, auk hafna og sjóvama, vegir eða flugvellir sem liggja lágt við strönd, svo sem við Hofsvík á Kjalarnesi, Skötufjörð eða Akureyrarflugvöll; staðir þar sem lágar brýr og þveranir liggja yfir firði, svo sem við Breiðafjörð eða Breiðdalsvík, og staðir þar sem hætta er á ofanflóðum eða óstöðugleika í hlíðum, svo sem í Kambanesskriðum, Almenningum eða Eyrarhlíð.



**Mynd 10. Þar sem vegir liggja í sæbröttum hlíðum, t.d. í Hvalnesskriðum og Kambanesskriðum, getur hækkandi sjávarstaða aukið grjóthrun og skriðuföll.**

<sup>9</sup> Loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi. Skýrsla vísindanefndar  
<https://www.vedur.is/media/loftslag/Skyrsla-loftslagsbreytingar-2018-Vefur.pdf>

### 3.2.1 Aðlögun í vegasamgöngum

Á vegum Efnahags- og framfarastofnunar Evrópu, UNECE, á vettvangi samtaka evrópskra vegamálastjóra og í nágrannalöndum hefur mikil rannsókn- og þróunarvinna verið unnin um aðlögun í vegasamgöngum með það að markmiði að deila þekkingu og gera ríkjum kleift að bregðast við og aðlaga vegakerfin að fyrirsjáanlegum breytingum.<sup>10</sup> Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar hefur styrkt verkefni um líkleg áhrif loftslagsbreytinga á íslenska vegakerfið. Í skýrslu sem kom út árið 2012 var gerð tillaga að stefnumörkun fyrir Vegagerðina um aðlögun að loftslagsbreytingum.<sup>11</sup> Í skýrslunni kom fram að aðlögun að loftslagsbreytingum geti einkum verið með tvennu móti; annars vegar með fyrirbyggjandi aðgerðum til þess að koma í veg fyrir óæskilega atburði eða tjón og hins vegar með mildandi mótvægisáðgerðum til þess að draga úr afleiðingum óæskilegra atburða. Aðgerðaleyfi geti verið dýrkeypt, sérstaklega með tilliti til líftíma og fjárfestinga í samgöngumannvirkjum. Nauðsynlegt sé að horfa til þekktra áhrifaþátta við skipulag og hönnun mannvirkja. Þá er bent á að styrkja þurfi þekkingargrunn um loftslagsbreytingar og áhrif þeirra, t.d. með auknum og samhæfðum skráningum á áhrifum veðurs á vegakerfi og umferð.

Almennt er hönnunarlíftími vegamannvirkja stuttur í ljósi hægfara loftslagsbreytinga. Þó ber að hafa í huga kenningar um þröskulda og þanþol, m.a. í hækku sjávarborðs. Þó ekki séu enn vísbendingar um veruleg áhrif loftslagsbreytinga má leiða líkur að því að aurflóðum hafi fjölgað og sjávarborð fer hægt hækkandi. Vegagerðin hefur m.a. gert tillögur um hækkun mannvirkja á lágsvæðum um 30 cm frá fyrri viðmiðunarreglum.<sup>12</sup> Að auki hafa farið fram auknar mælingar á sjávarstöðu í höfnum víða um land sem líta má á sem fyrstu skref í uppbyggingu þekkingar sem forsendu aðlögunar.

Í reglulegu viðhaldi flestra mannvirkja er hægt bregðast við afleiðingum loftslagsbreytinga án umtalsverðs kostnaðarauka. Þegar um er að ræða dýrari mannvirkja sem ætlað er að standa lengi, s.s. brýr og jarðgöng, eykst óvissa um umfang og áhrif loftslagsbreytinga á líftíma mannvirkjanna. Því er talið að uppbygging og rekstur vegakerfisins þurfi að taka mið af áhrifum loftslagsbreytinga með því að safna gögnum og upplýsingum þannig að þau nýtist sem best t.d. með því að:

1. Stuðla að aukinni þekkingu starfsmanna á áhrifum veðurs og veðurtengdra þátta á vegakerfið, ásamt þekkingu á loftslagsbreytingum.
2. Sinna vöktun og skráningu á áhrifum veðurtengdra atburða á vegakerfið og rekstur þess.
3. Viðhafa virka áhættustýringu vegna veðurtengdra atburða sem miðast við að koma í veg fyrir óæskilega atburði eða að draga úr neikvæðum afleiðingum þeirra.
4. Sjá til þess að hugsanlegar uppfærslur á hönnunarforsendum og rekstrarþáttum, sem loftslagsbreytingar kunna að leiða til, skili sér í staðla og leiðbeiningar.
5. Taka þátt í og stuðla að samvinnu meðal annarra hagsmunaaðila um loftslagsbreytingar.

<sup>10</sup> Decision support tools for embedding climate change thinking on roads (DeTECToR), <https://trl.co.uk/projects/decision-support-tools-for-embedding-climate-change-thinking-on-roads--detector/>

<sup>11</sup> Skúli Þórðarson 2012. Loftslagsbreytingar og vegagerð: Tillögur um aðgerðir til aðlögunar, Vegagerðin og Vegsýn

<sup>12</sup> [https://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/lagsvaede\\_vidmidunarreglur\\_2018/\\$file/L%C3%A1gsv%C3%A6%C3%B0i-vi%C3%B0mi%C3%B0unarreglur-%C3%9Atg%C3%A1fa%20A-04%202018.pdf](https://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/lagsvaede_vidmidunarreglur_2018/$file/L%C3%A1gsv%C3%A6%C3%B0i-vi%C3%B0mi%C3%B0unarreglur-%C3%9Atg%C3%A1fa%20A-04%202018.pdf)

### 3.3 Hafnir og siglingar

Samkvæmt mælingum hefur Hafið hlýnað samfleytt frá árinu 1970 og svo virðist sem hraði hlýnunar hafi tvöfaldast síðasta áratuginn. Sjórinn hefur tekið upp meira en 90% af umframvarma vegna hnattrænnar hlýnunar sem veldur varmaþenslu og hækkun sjávarborðs. Helsta hættan sem steðjar að siglingum er hækkað sjávarborð og aukin ölduvirkni en hvort tveggja hefur mikil áhrif á hafnarmannvirki. Talið er að 60% hafna í Evrópu verði fyrir áhrifum af þessum völdum, bæði hafnarmannvirki og skip, auk þess sem mikil áhrif verða á hafnarstarfsemi, þ.m.t. flutninga til og frá höfnum sem og uppskipun.<sup>13</sup>

Tveir helstu áhættuþættirnir fyrir hafnir eru hækkun sjávarstöðu og aukin tíðni aftakaveðurs með áhlaðanda sem getur ollið umtalsverðu tjóni með skemmdum og flóðahættu. Meðan þessar breytingar eru hægar eru viðbrögð hluti af eðlilegu viðhaldi mannvirkjanna, og því er rétt að gera í áætlunum ráð fyrir hækkun sjóvarna og hafnarmannvirkja. Víða um landið er lítils háttar landsig sem eykur á breytingarnar. Á þetta sérstaklega við um Suðvesturland þar sem landsig fram að aldamótum gæti numið tugum sentimetra og sem legðist við hnattræna hækkun sjávarborðs.



**Mynd 12. Landfestar losaðar í stórstraumsflóði í Hafnarfjarðarhöfn 1. september 2019. Á Suðvesturlandi er töluvert landsig sem eykur áhrif hækkandi sjávarstöðu á mannvirki.**

<sup>13</sup> Port Industry survey on Climate Change Impacts and Adaptation. [https://unctad.org/system/files/official-document/ser-rp-2017d18\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/ser-rp-2017d18_en.pdf)



Vegna bráðnunar jökla er nokkuð landris á suðausturhorninu sem hefur m.a. áhrif á sjávarfallastrauma um Hornafjarðarós og þ.a.l. Hornafjarðarhöfn. Því getur þurft að bregðast við til að viðhalda dýpi í innsiglingunni til hafnarinnar.

Gera má ráð fyrir að meiri þörf fyrir sjóvarnir, einna helst þar sem hækkun sjávarborðs er samfara landsigi, svo sem á suðvesturhorninu. Helstu verkefni, m.a. uppbygging sjóvarna, eru tiltekin í sjóvarnaáætlun sem er liður í samgönguáætlun. Uppbygging og lagfæring á höfnum er tekin fyrir í hafnaáætlun sem er, líkt og sjóvarnaáætlun, hluti af samgönguáætlun.



**Mynd 13. Höfnin í Stykkishólmi á stórstraumsflóði.**

### **Norðurslóðasiglingar**

Skipaferðir um norðurslóðir hafa aukist að sumarlagi samhliða minnkandi hafisþekju og stækkandi svæða með árstíðabundinni ísþekju. Þessi áhrif eru um margt jákvæð því með norðursiglingum styttest leiðin frá Asíu til Evrópu mikið vegna möguleika á styttri flutningsleiðum á sjó, þá aðallega fyrir vöruflutninga þar sem ávinningurinn er mikill vegna tíma- og eldsneytissparnaðar.<sup>14</sup> Opnist fyrir pólsiglingar kann að verða þörf fyrir umtalsverðar fjárfestingar í innviðum hafna fyrir sérhæfð og stór skip. Þ.m.t. á Íslandi.<sup>15</sup> Að auki er búist við að skemmtiferðaskip ferðist í auknum mæli á norðurslóðir. Hverfi hafís að mestu leyti að sumarlagi á Norður-Íshafi á þessari öld er óvíst hversu mikil áhrif auknar

<sup>14</sup> „Hagsmunir Íslands á norðurslóðum.“ <https://www.stjornarradid.is/gogn/rit-og-skyrslur/stakt-rit/2016/09/08/Hagsmunir-Islands-a-nordurslodum/>



siglingar á norðurslóðum muni hafa á Íslandi, þá sérstaklega vegna þess að óvíst er hvort flutningsaðilar sjái sér hag í viðkomu á Íslandi.<sup>16</sup>

Margir aðrir óvissu- og áhættuþættir eru nefndir varðandi framtíðarsiglingar á norðurslóðum, eins og ítrekað hefur komið fram, m.a. hjá Alþjóðasiglingamálastofnuninni, IMO.<sup>17</sup> Þessir þættir tengjast meðal annars:

1. Öryggismálum, en á vegum Alþjóðasiglingamálastofnunarinnar hefur verið samþykkt sérstakt regluverk um smíði, siglingar og rekstur skipa á heimskautasvæðum. Reglurnar gilda um kaupskip sem eru í alþjóðlegum siglingum og taka þær bæði til öryggis- og umhverfisþátta.
2. Skilyrðum til siglinga, svo sem vegna lausra ísjaka og myrkurs.
3. Kostnaði vegna trygginga.
4. Umhverfisáhrifum því vistkerfi og lífverur norðurslóða eru afar viðkvæm fyrir breytingum.

Vegna allra þessara þátta er óvissa bæði um ávinning og áhættu fyrir Ísland vegna aukinna siglinga um norðurslóðir.<sup>18</sup> Mikilvægt er þó fyrir Íslendinga að fylgjast vel með þróun þessara siglinga og stuðla að því að þeim sé stýrt skynsamlega, m.a. með öryggi og lágmörkun umhverfisáhrifa í huga.

### 3.3.2 Aðlögun í siglingum

Þær loftslagsbreytingar sem munu hafa mest áhrif, a.m.k. til að byrja með, eru hækkandi sjávarstaða og vaxandi úrkomuákefð samfara hlýnun.

Vegagerðin rekur vöktunarkerfi fyrir samgöngur sem hefur að geyma upplýsingakerfi, þ.m.t. *Veður og færð* og *Veður og sjólag*. Í síðarnefnda kerfinu eru m.a. rekin öldudúfl sem mæla ölduhæð auk veðurmælinga í vitum á annesjum. Þá voru þróuð inn í kerfið reiknilíkön sem sýna sjávarföllin ásamt áhlaðanda vegna vind- og loftþrýstings á hafsvæðinu hringinn í kringum landið auk upplýsinga fyrir hverja höfn.

Eftir mikið óveður sem gekk yfir norðanvert landið í desember 2019 var sett af stað vinna við uppfærslu á vefnum um *Veður og sjólag* sem miðar að því að sameina spágögn um öldu- og sjávarhæð og rauntímamælingar úr veðurstöðvum, vitum, sjávarfallamælum og öldudúflum á einum stað. Mun það gera sjófarendum kleift að sækja sér allar helstu upplýsingar á einn stað. Í þessum fasa er einnig verið að bæta við nákvæmum útreikningum á öldu að landi við hafnir landsins og birta á sama korti. Að viðbættu öflugum mælikerfi sjávarhæðarmæla og háupplausnarspám um sjávarhæð og áhlaðanda verður því hægt að nálgast hágæðaspár á öldu- og sjávarstöðu við hafnir landsins sem munu bæta til muna upplýsingaflæði fyrir notendur og nýttast sem innlegg í áætlanagerð viðbragsaðila þegar óveður eiga sér stað.

<sup>16</sup> „Predicting the future of Arctic ice“ <https://www.ncei.noaa.gov/news/arctic-ice-study>

<sup>17</sup> <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/polar/>

<sup>18</sup> Siglingar á norðurslóðum – Ísland í brennidepli, Hagfræðistofnun HÍ 2019 [http://hhi.hi.is/sites/hhi.hi.is/files/sjz/nordurslodir\\_lok\\_20\\_12\\_19\\_0.pdf](http://hhi.hi.is/sites/hhi.hi.is/files/sjz/nordurslodir_lok_20_12_19_0.pdf)

## Sjávarstöðumælingar umhverfis landið

Hæðarmælingar í siglingum og hafnargerð taka mið af fjöruborði við stjarnfræðilegt flóðástand þ.e. meðalstórstraumsfjöru gagnstætt landhæðarmælingum sem miðast við meðalsjávarborðshæð. Töluverður breytileiki er á sjávarföllum umhverfis landið. Útslag sjávarfallasveiflunnar er mest um og yfir 4 m vestanlands en minnst um 1 m meðfram norður- og norðausturströndinni. Sjávarfallalíkön og reikningar eru notuð til þess að segja til um sjávarföll víða um land. Raunverulegar mælingar eru nauðsynlegar til þess að staðfesta og bæta útreikninga en mikilvægt er að gögn sem safnast séu nægjanlega áreiðanleg svo að þau nýtist sem best. Einungis er til ein langtímaröð mælinga frá gömlu höfninni í Reykjavík sem nær óslitið frá árinu 1956. Um 1990 hófst uppbygging á upplýsingakerfinu *Veður og sjólag*, og hefur það verið í stöðugri þróun síðan. Ein forsenda þess var að setja upp sjálfvirkar veðurstöðvar og sjávarborðsmæla í nokkrum höfnum umhverfis landið. Kerfið er afar gagnlegt og notað af sjófarendum vegna upplýsinga um tímasetningar sjávarfalla og áætlaða sjávarhæð. Hafnirnar höfðu til skamms tíma litla þörf fyrir nákvæmar upplýsingar um breytingar á afstöðu lands og sjávar. Nú hafa bæst við aðrar áskoranir með vaxandi áhrifum loftslagsbreytinga. Þær upplýsingar sem kerfið safnar eru orðnar afar verðmætar fyrir framtíðarfyrirkomulag í byggðaskipulagi, strandvörnum, hafnargerð, frárennsli og hönnun mannvirkja við ströndina og á grunnsævi.

Vegagerðin vinnur nú að kvörðun og uppsetningu sjávarborðsmæla í höfnum víða um land. Markmiðið er að safna gögnum um meðalsjávarhæð, hæstu og lægstu flóðastöðu, sjávarfallabætti og áhlaðanda þannig að hægt sé að fylgjast með breytingum á sjávarstöðu.<sup>19</sup>



<sup>19</sup> Gunnar Orri Gröndal o.fl. Kerfi sjávarborðsmæla, óbirt skýrsla, Vegagerðin 2019  
[https://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/throun\\_kerfi\\_sjavarbordsmaelinga\\_radst\\_agrip/\\$file/%C3%9Er%C3%B3un%20%C3%A1%20kefri%20sj%C3%A1varbor%C3%B0sm%C3%A6la.pdf](https://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/throun_kerfi_sjavarbordsmaelinga_radst_agrip/$file/%C3%9Er%C3%B3un%20%C3%A1%20kefri%20sj%C3%A1varbor%C3%B0sm%C3%A6la.pdf)

#### **Mynd 14. Framtíðarfyrirkomulag sjávarstöðumæla við strendur landsins gerir ráð fyrir 22 mælum en nú eru mælar á 16 stöðum.**

Tilgangurinn með kerfinu er að fylgjast með afstöðubreytingum lands og sjávar en þar af leiðandi er nauðsynlegt að sjávarborðsmælingar tengist GPS-mælingum á landi, m.a. þar sem framkvæmdir í höfnum geta haft áhrif á mælingar. Veðurstofan rekur kerfi GPS-mælistöðva og setur upp slíkar stöðvar í tengslum við sjávarborðsmælingar þar sem þörf er á. Verkefnið byggist á samstarfi Vegagerðarinnar, Veðurstofu Íslands og Landmælinga Íslands og er fjármagnað af samgönguáætlun. Gert er ráð fyrir að fyrstu niðurstöður verði birtar snemma árs 2022.

#### **Samlíkur á öldu, sjávarstöðu og áhlaðanda – hættu á sjávarflóðum**

Hættu á áflæði sjávar og sjávarflóðum eykst með hækkandi sjávarstöðu. Búast má við að á öldinni geti sjávarstaða á Suðvesturlandi hækkað um allt að 60 cm m.v. mildandi þyngdarhrif Grænlands, jafnvel meira háð því hver þróunin verður í losun gróðurhúsalofttegunda.<sup>20</sup> Með grófum nálgunum má gera ráð fyrir að endurkomutími flóðs með 100 ára endurkomutíma nú geti orðið með tveggja ára endurkomutíma m.v. 30 cm hækkun. Því má vera ljóst að ef ekki er brugðist við munu tjón af völdum sjávarflóða verða mun algengari, ekki hvað síst þar sem mikið er byggt á uppfyllingum og lágsvæðum við ströndina. Því hefur það þjóðhagslegt gildi að geta metið með líkindafræðilegri úrvinnslu hvar hættan er mest og hvar þurfi fyrst að bæta varnir gegn sjávarflóðum.

Í nýju verkefni Vegagerðarinnar, sem byggist á meistaraverkefni Bryndísar Tryggvadóttur,<sup>21</sup> er leitast við að útbúa spálíkan fyrir samlíkur á hárrí sjávarstöðu, áhlaðanda, háum öldum og vindi og líkindafræði ágjafar sjávar á land yfir náttúrulegan sjávarkamb eða sjóvarnarmannvirki. Aðferðafræðin var þróuð í Englandi, eftir mikil sjávarflóð þar sem líkur á flóðum höfðu verið verulega vanmetnar, og notuð til að meta framtíðarhættu.<sup>22</sup> Byggð á Íslandi og meirihluti mannvirkja er við ströndina og raunmat á flóðahættu því nauðsynlegur þáttur í aðlögun. Í verkefninu er notast við reiknilíkan Vegagerðarinnar fyrir öldur, MIKE21 SW, þar sem tímaraðir fyrir öldur á hafi eru notaðar til að reikna tímaraðir fyrir öldur upp við ströndina, sem síðan eru nýttar til að meta hættu á og af sjávarflóðum við helstu þéttbýlisstaði landsins.

Aðferðafræðin felst í því að útbúa stórt safn aftakaatburða sem byggist á samlíkum vind- og haffræðilegra þátta raunverulegra atburða. Ágjöf á land er metin fyrir hvern atburð í stóra gagnasafninu sem inniheldur líklegan fjölda aftakaatburða sem myndu eiga sér stað yfir 10.000 ára tímabil. Þannig er endurkomutími hvers atburðar metinn og út frá því má meta stærðargráðu 1, 10, 100 og 1000 ára atburðar. Með þessu móti má einnig meta þróun flóðahættu samhliða hækkandi yfirborði sjávar, enda á sjávarstaða stóran þátt í hættu á ágjöf.

Vegagerðin hefur að undanförunu nýtt þessa aðferðafræði til að meta ágjöf yfir sjóvarnir á Granda fyrir Faxaflóahafnir og vinna fyrir Reykjavíkurborg að samskonar verkefni vegna Sæbrautar er að hefjast. Þá er vinna fyrir Vík í Mýrdal langt komin, bæði fyrir núverandi skipulag og einnig fyrir skipulag þar

<sup>12</sup> Bryndís Tryggvadóttir, 2020. Mat á aftaka sjávarflóðum: Innleiðing aðferða sem byggist á samlíkum útgilda

<https://skemman.is/handle/1946/34935>

<sup>22</sup> State of the Nation Flood risk Analysis <https://www.sepa.org.uk/environment/water/flooding/developing-our-knowledge/> og [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/960159/English\\_PFRA\\_Feb\\_2021\\_PDF.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/960159/English_PFRA_Feb_2021_PDF.pdf)

sem gert er ráð fyrir nýjum vegi sjávarmegin við byggðina. Þá byggðist ákvörðun á hækun sjóvarnar við Sauðárkrók eftir óveður í byrjun árs 2020 á niðurstöðum úr rannsókn sem byggði á þessari aðferðafræði. Með hverju verkefni er aðferðafræðin fínþússuð og þróuð frekar og jafnframt nær Vegagerðin betri tókum á sjávarflóðaverkefnum og flækjustigi þeirra.



**Mynd 15. Ef sjávarflóð yrði sambærilegt við Básendaflóðið sem varð árið 1799 mætti gera ráð fyrir verulegum áhrifum á strandbyggð á höfuðborgarsvæðinu. Líkanið sýnir að í Reykjavík myndi sjór flæða inn í Tjörnina og Seltjarnarnesið yrði eyja um hríð.<sup>23</sup>**

<sup>23</sup> <https://www.efta.is/frettir/flodhavarir-i-kvosinni>

### 3.4 Flug og flugvellir

Nauðsynlegt er að huga vel að áhrifum loftslagsbreytinga á flug. Flug og flugvellir eru gríðarlega mikilvægur þáttur í almannavarnakerfinu og fyrir þjóðaröryggi. Enginn fararmáti getur komið fólk eða farmi, þ.m.t. hjálpargögnum, jafnfljótt á áfangastaði sem jafnvel eru óaðgengilegir öðrum farartækjum. Flug er einnig mikilvægur liður í viðbragðsáætlunum. Við aðlögunaraðgerðir og áhættustjórnun þarf því að huga sérstaklega að styrkingu flugmannvirkja sem lið í viðbragðsáætlunum, þ.m.t. rýmingaráætlunum stjórnvalda.

Í engri samgöngugrein er öryggi jafnmikilvægt á öllum stigum og í flugi. Þar ríkir sterk öryggisvitund sem teygir sig inn í alla þætti flugsins. Áhættustjórnun er ríkulegur þáttur í rekstri flugfélaga og því má búast við að flug verði sú samgöngugrein þar sem aðlögunaráætlanir verða hvað fyrst innleiddar alþjóðlega. Tafir eða rof á flugi eru veigamikil áhætta fyrir samfélagið en Ísland er háð flugi í fólks- og vöruflutningum.

#### Tilfærslur veðurkerfa og breytingar á vindáttum

Flug er viðkvæmt fyrir veðri, ekki síður í háloftunum, veðrahvolfi og neðra heiðhvolfi, sem á jörðu niðri. Áhrifin í fluginu sjálfu tengjast veðurfyrirbærum eins og niðurstreymi og tengdum áhrifum eins og vindhraða, þrumuveðri, eldingum og hagléli, ísingu, ókyrrð og fjallabylgjum, sem og fyrirbærum við jörð eins og þoku. Sjónir manna beinast einnig að breyttri hegðan háloftastrauma í andrúmslofti vegna loftslagsbreytinga. Háloftastraumarnir eru knúnir áfram af hitamismun milli pólsvæðanna og hitabeltisins. Loftslagslíkön og gervihnattamælingar benda til þess að þessi hitamunur sé að breytast á flókinn hátt, þ.e. fari minnkandi við jörðu vegna hlýnunar heimskautanna, en sé að aukast í farhæð vegna minni kólnunar í heiðhvolfinu. Slíkar breytingar á ríkjandi vindmynstri háloftavindanna geti breytt vali á flugleiðum, ferðatíma og eldsneytisnotkun. Á sama tíma gætu þessar breytingar aukið ókyrrð í lofti sem getur haft áhrif á flugleiðir.

Erfitt er að spá fyrir um staðbundnar veðurfarsbreytingar sem hafa áhrif á flug. Á jörðu hefur hlýnun áhrif á flugtak. Þar sem hlýrra loft er léttara getur hlýnunin dregið úr flugtaksþyngd eða skapað þörf fyrir lengri flugbrautir.<sup>24</sup> Ólíklegt er að slíkt muni eiga við um flugvelli á Íslandi en annað gildir um áfangastaði erlendis.

EKKI liggur fyrir hvort veðurfarsbreytingar séu farnar að hafa áhrif á Keflavíkurflugvöll en slíkt er þó nauðsynlegt að vakta svo hægt verði að bregðast við. Þá má velta fyrir sér mögulegum áhrifum þoku sem gæti orðið tíðari og aukins vindstyrks eða breytinga á ríkjandi vindátt samhliða breytingum á hreyfingum veðurkerfa sem gætu haft áhrif á flugvelli, sérstaklega þar sem þröngt er um aðflug.

Þá má benda á áhrif mannvirkja og byggðar á vindafar í kringum flugvelli. Slíkt gæti einmitt farið að hafa meiri áhrif á starfsemi flugvalla með auknum vindstyrk.

Almennt eiga flestir þættir sem eiga við um vegi einnig við um flugvelli, svo sem úrkomuákefð. Flóð í ám og vötnum geta haft áhrif á nokkra innanlandsflugvelli. Egilsstaðaflugvöllur hefur verið umflottinn

<sup>24</sup> Climate change impacts on aviation: An interview with Herbert Puempel: <https://public.wmo.int/en/resources/bulletin/climate-change-impacts-aviation-interview-herbert-puempel>



vatni í asahláku sem og lendingarstaðurinn á Siglufirði. Þá gætu vatnsflóð lokað Akureyrarflugvelli. Verði rof á vegum til og frá flugvöllum getur það haft umtalsverðar afleiðingar með töfum og auknum viðhaldskostnaði.



**Mynd 16. Flóð vegna mikillar úrkomu, sérstaklega asahláku, geta valdið miklum truflunum á þjónustu flugvalla. Myndin er frá Egilsstaðaflugvelli árið 2002. Sambærilegt flóð varð á Siglufirði árið 2020.**

Ofanflóð geta valdið hættu. Samkvæmt hættumati Veðurstofu Íslands er hluti af Ísafjarðarflugvelli nærri flugstöð á mögulegu úthlaupssvæði snjóflóða úr Kirkjubólshlíð. Að auki er innri hluti Ísafjarðarflugvallar á úthlaupssvæðinu.<sup>25</sup>

Sjávarflóð eru sá áhrifaþáttur sem líklegastur er til að hafa fyrst áhrif á flugvelli samhliða hækkandi sjávarstöðu. Þar er tjónnæmi mest á Akureyrarflugvelli en einnig gætu aðrir flugvellir sem liggja hærra yfir sjó verið viðkvæmir, til dæmis Bíldudalsflugvöllur sem liggur allur á landfyllingu sem er varin með grjótvörn.

<sup>25</sup> Hættumat fyrir Innri-Kirkjubólshlíð, Veðurstofa Íslands 2007, <https://rafhladan.is/bitstream/handle/10802/4276/07011.pdf?sequence=1>



**Mynd 17. Flugbrautin á Akureyri á stórstraumsflóði 2. nóvember 2020. Litlu má muna að flæði yfir Eyrarbrautina sem er hluti Hringvegjar. (Mynd: Hörður Geirsson)**

Í töflu 3 er sýnd hæð þeirra innanlandsflugvalla og lendingarstaða sem liggja lægst yfir sjó. Hæðin er lægsti þröskuldur fyrir millilandavelli og innanlandsvelli. Akureyrarflugvöllur þolir minnsta hækkun sjávarborðs af flugvöllum í grunnneti. Fyrir lendingarstaði er það landhæð í AIP AD4.2, lína 3 í töflunni. Landhæð á öryggissvæðum er lægri þar sem land hallar frá flugbrautinni.

**Tafla 3 Flugvellir í AIP, hæð undir 5 metrum**

	AIP-hæð, meðal sjávarhæð m
<b>Millilandaflugvellir</b>	
Akureyri	1,5
<b>Flugvellir innanlands</b>	
Bíldudalur	3,4
Hornafjörður	2,1
Ísafjörður	2,3
Sauðárkrókur	2,4
Vopnafjörður	2,4
<b>Lendingarstaðir</b>	
Djúpivogur	1,5
Norðfjörður	1,5

### 3.4.1 Aðlögun í flugi

Vöktun á veðurfarsbreytingum: Mæling og skráning á veðri er stunduð á flugvöllum landsins. Gögn eru því fyrir hendi vegna vöktunar og úrvinnslu sem unnt er að grípa til þegar á þarf að halda. Samhæfð athugun á þörf fyrir aðlögun að loftslagsbreytingum í rekstri og uppbyggingu mannvirkja Ísavia hefur ekki verið unnin.

Viðbrögð við hækkandi sjávarstöðu: Við byggingu nýs flughlaðs, sem nú er hafin á Akureyrarflugvelli, er tekið mið af þörf fyrir hærri legu til framtíðar, m.a. til þess að draga úr flóðahættu vegna vorleysinga í Eyjafjarðará, en slík ráðstöfun mun einnig gagnast til framtíðar vegna hækkunar sjávarstöðu.



## 4. Aðlögun og ávinningur

### 4.1 Fjárfestingar, arðsemi og ávinningur

Samgöngumannvirki og umferðin um þau verða stöðugt fyrir áhrifum af veðurfari og aðstæðum sem af því skapast. Við skipulag, hönnun og aðgerðir þarf að taka tillit til loftslags og spár um breytingar á næstu áratugum því líftími, og þar með arðsemi, framkvæmda er mældur í áratugum.

Þegar forgangsraða á fjármunum til samgöngumannvirkja og viðhalds þeirra skiptir miklu að byggja á viðurkenndum aðferðum og góðum gögnum. Helstu hagfræðilegar matsaðferðir við slíka greiningu eru 1) kostnaðar-ábatagreining (cost-benefit analysis), 2) hagkvæmigreining (cost-effectiveness analysis) og 3) fjölvíðar greiningar (multi-criteria analysis). Aðferðirnar hafa mismunandi styrkleika og veikleika.

Kostnaðar-ábatagreiningum er mest beitt þegar borin er saman arðsemi mismunandi leiða í samgönguverkefnum, þar sem fyrst og fremst er horft til fjárfestinga. Hagkvæmigreining hentar betur þegar flókið er að greina arðsemi og fremur er horft til árangurs aðgerða þar sem þarf að forgangsraða valkostum með því að finna hagkvæmasta kostinn til að ná markmiðum. Þessi aðferð kann því að henta betur við mat á mótvægisáðgerðum vegna loftslagsbreytinga, t.d. þegar meta þarf aðgerðir sem draga úr losun á móti aðgerðum sem draga úr afleiðingum. Beiting þessarar aðferðar er hins vegar flókin í aðlögunarrannsóknum vegna fjölda áhrifaþátta sem taka þarf tillit til. Fjölvíðar greiningar fela í sér mat á valkostum og forgangsröðun m.t.t. fjölda viðmiða en ávinningur er ekki metinn til verðs og er aðferðinni því oftast beitt við greiningu umhverfispátta og félagslegra sjálfbærniþátta. Íhuga ætti áhrif loftslagsbreytinga við efnahagslegar ákvarðanir, einkum þær sem hafa langvarandi áhrif. Efnahagslegt mat ætti að taka tillit til áhættustigs vegna óhagstæðra veðuratburða og áhrifa breytts loftslags á líftíma.



**Mynd 18. Hringrás aðlögunarferla felur í sér áhættumat, greiningu valkosta fylgt eftir með aðgerðum**

### 4.2 Næstu skref

Í þessari skýrslu er einungis tæpt lítillega á þeim áskorunum framundan eru. Mikilvægasta verkefnið er að vinna að lausnamiðaðri aðlögunaráætlun fyrir samgöngur. Til að svo megi verða er

nauðsynlegt að skapa þekkingargrunn innan samgöngustofnana og efla rannsóknir og vöktun, uppfæra sviðsmyndir og viðbrögð við afleiðingum loftslagsbreytinga þannig að forvarnir og aðlögun takist sem best. Til þess að svo megi verða er nauðsynlegt að:

1. Stofnanir samgöngumála setji sér stefnu um aðlögun að loftslagsbreytingum og innleiði hana í starfsemi sína.
2. Unnið verði að skipulegum og formlegum tengslum samgöngustofnana við sérfræðinga og hagsmunaaðila á viðeigandi vettvangi vegna aðlögunar að loftslagsbreytingum.
3. Komið verði á sameiginlegum og aðgengilegum gagnagrunni samgöngustofnana og annarra stofnana, svo sem Veðurstofu Íslands, Jarðvísindastofnunar o.fl., þar sem gögnum er safnað í opinn grunn.
4. Unnið verði áhættu- og kostnaðarmat á áhrifum loftslagsbreytinga á mikilvæga innviði samgangna og gerðar tímasettar áætlanir um aðgerðir til aðlögunar.
5. Reglur, staðlar og leiðbeiningar um skipulag, hönnun, viðhald og þjónustu verði yfirfarnar og uppfærðar þar sem nauðsynlegt er m.v. stöðu þekkingar um loftslagsbreytingar og áhrif þeirra.

#### 4.2.1 Verkefni sem æskilegt er að vinna

Vegagerðin rekur vöktunarkerfi fyrir samgöngur sem hefur að geyma upplýsingakerfi, þ.m.t. *Veður og færð* og *Veður og sjólag*, við strendur landsins. Þau kerfi safna mikilvægum gögnum um ástand umhverfisins. Það eru mörg verkefni fram undan sem eiga það sammerkt að fela í sér kortlagningu og aðgengilegri skráningu gagna og upplýsinga. Þær loftslagsbreytingar sem munu hafa mest áhrif á samgöngukerfið eru hækkandi sjávarstaða og vaxandi úrkomuákefð samfara hlýnun. Þar er mest þörf á kortlagningu tjónnæmra staða m.t.t. áhættu og að viðhafa öflugna vöktun sem kemur að gagni við gerð viðbragðsáætlana og ákvarðanatöku.

#### Gagnagrunnur yfir áhættustaði í vegakerfi

Hefja þarf skráningu þeirra vegkafla þar sem mest hættu er á ofanflóðum, grjóthruni, aurflóðum eða öðrum afleiðingum loftslagsbreytinga með upplýsingum um sögu, staðsetningu, orsakir og afleiðingar, veðurgögn frá tjónstíma (hiti, úrkoma og vindur) og vatnamælingar (vatnshæð, rennsli, flóðför) þar sem slíkt er til.

#### Veðurfarsbreytingar

Nauðsynlegt er að fylgjast með breytingum í veðurfari. Þar geta veðurstöðvar Vegagerðarinnar sem staðsettar eru víða um land komið að góðu gagni með söfnun upplýsinga og verið mikilvægar við vöktun á aðstæðum og tímanlegum viðbrögðum. Mikilvægi veðurfarupplýsinga tekur til allra samgangna og innviða þeirra við ákvarðanir um framkvæmdir eða viðhald.

#### Vöktun sjávar

Vegagerðin rekur vöktunarkerfi fyrir samgöngur þ.m.t. *Veður og sjólag*, við strendur landsins. Öldudúfl mæla ölduhæð og veðurmælingar fara fram í vitum á annesjum. Þá voru þróuð inn í kerfið reiknilíkon sem sýna sjávarföllin ásamt vind- og loftþrýstingsáhlaðanda á hafsvæðinu hringinn í kringum landið auk upplýsinga fyrir hverja einstaka höfn. Mikilvægt er að tryggja fjármagn til þessara kerfa og hönnunar notendavæns viðmóts, en þau munu hafa sífellt meira og fjölbreyttara notagildi. Nægir þar að nefna ýmsa nýja notkun á auðlindum á strand- og grunnsævi.



Mynd 19. Brim við Hornafjörð. (Þorvarður Árnason)

#### 4.2.2 Að byrgja brunninn

Markmið aðlögunar er að geta brugðist við breytingum á samgöngum í tíma með lágmarkskostnaði. Til að svo megi verða er nauðsynlegt að kortleggja þá staði þar sem búast má við mestum váhrifum og hafa mest tjónnæmi. Fylgjast þarf vel með og vakta helstu áhættuþætti, svo sem sjávarstöðu, breytingar í hitastigi og úrkomu, þannig að hægt verði eins og kostur er að bregðast við í tíma. Forsenda rétttra viðbragða er að til staðar sé aðlögunaráætlun byggð á góðum gögnum.

Tafla 4 Dæmi um áhættuþætti og afleiðingar sem þarfnast aðlögunar.

	Vegakerfi	Siglingar og hafnir	Flug og flugvellir
Áhrifaþáttur			
<b>Hitastig</b> Heitari dagar Meiri hitasveiflur Minni snjór Minni hafís Bráðnandi sífreri	Blæðingar í bundnu slitlagi Hætta á frostlyftingu Hætta á aurskriðum Minni snjómokstur Meiri háلكuvarnir	Skemmdir á farmi Þarfir fyrir kælingu Hærrí viðhaldskostnaður	Minni þörf fyrir afísingu Yfirborð flugbrauta Minni mokstur Meiri háلكuvarnir
<b>Úrkoma</b> Breytt úrkomumynstur Árstíðabreytingar Aukin tíðni öfga	Flóð Skolast úr vegum Skemmdir á ræsum og brúm Snjóflóð og skriðuföll	Flóð Fráveitukerfi anna ekki	Flóð á flugbrautum Nýtingarhlutfall flugbrauta
<b>Hækkun sjávarborðs</b> Aukin flóðahætta Meira sjávarrof	Aukið rof Strandvegir, þveranir og brýr Flóð	Hækka þarf mannvirki Flæðir inn í fráveitukerfi Endurhönnun Rof í sjóvarnir	Flæðir upp á braut Rof í sjóvarnir
<b>Vindur og veðurofsi</b>	Tafir, lokanir vega	Oftar illviðri á siglingaleiðum Skemmdir á höfnum Rof á sjóvarnargörðum	Tafir, flugi aflýst Breyttur nýtingarstuðull flugbrauta

