

11 Áhrif loftslagsbreytinga á innviði, atvinnuvegi og samfélag

Samantekt

1. Líklegt er að loftslagsbreytingar muni hafa áhrif á fráveitu- og ofanvatnskerfi. Laga þarf þessi kerfi að breytingunum, en brýn þörf er á rannsóknum sem leggja má til grundvallar stefnumótun.
2. Loftslagsbreytingar kunna að hafa áhrif á eftirspurn, framboð og gæði vatns, en gera þarf umfangsmiklar rannsóknir og tryggja bætt eftirlit á þessu sviði.
3. Aukist ákefð úrkomu veldur það meira álagi á fráveitukerfi og taka þarf tillit til þessa við hönnun þeirra.
4. Skoða þarf áhrif sjávarstöðubreytinga á frárennsli og bæta mælanet úrkomu í þéttbýli.
5. Líklegt er að rennsli í einstaka virkjuðum jökulám aukist um 27–84% fram að miðbiki aldarinnar.
6. Rannsóknir benda til að á tímabilinu 2010–2050 muni nýtanlegt vatnsafl aukast um 20%, en núverandi orkukerfi ræður einungis við um 38% þeirrar aukningar.
7. Aðlögunar er þörf í orkugeiranum til að mæta aukningu á nýtanlegu vatnsafl.
8. Greiningu á áhrifum loftslagsbreytinga á flutningsnet raforku vantar.
9. Rannsóknir benda til að hækkun á lofthita geti minnkað eftirspurn eftir heitu vatni um rúmlega 5% fyrir hverja gráðu.
10. Líklegt er að loftslagsbreytingar hafi áhrif á uppbyggingu og viðhald vegakerfisins, og á þjónustuþörf, t.d. verði minni þörf á snjósmokstri en aukin þörf á hálkuvörnum.
11. Líklegt er að siglingar á norðurslóðum aukist en óvissa er um bæði áhættu og ávinning fyrir Ísland.
12. Hlýnun hefur haft umtalsverð áhrif á jarðargróður og líklegt er að framleiðsla ýmissa fódur- og fæðujurta aukist með hlýnandi loftslagi.
13. Verði breytingar í umhverfisaðstæðum hægfara er líklegt að íslenskur sjávarútvegur ráði við þær, en aðlögunar er þörf. Áhrif súrnunar á lífríki hafsins munu þó líklega koma fyrir fram á íslensku hafsvæði en annars staðar.
14. Líklegt er að nýtanlegar auðlindir sjávar muni betur geta staðið af sér og aðlagast áhrifum loftslagsbreytinga ef unnt verður að halda áhrifum álagsþátta tengdum fiskveiðum, raski á búsvæðum og mengun í lágmarki.
15. Bæði súrnun og hlýnun sjávar geta haft áhrif á fiskeldi.
16. Til skemmri tíma er líklegt að áhrif loftslagsbreytinga á ferðaþjónustu á norðurslóðum verði jákvæð, en frekari rannsókna er þörf.
17. Tryggingar eru mikilvægur þáttur í að stýra áhættu tengdri loftslagsbreytingum og náttúruvá.
18. Viðlagatrygging Íslands veitir tryggingarvernd gagnvart áhættuþáttum sem loftslagsbreytingar kunna að hafa áhrif á, s.s. ofanflóð, vatnsflóð og kjarrelda.
19. Samfélagsleg áhrif loftslagsbreytinga og viðbragða við þeim kunna að verða umtalsverð, bæði vegna kostnaðar við aðlögun og mótvægisáðgerðir, auk alþjóðlegra skuldbindinga. Þörf er þó á frekari rannsóknum.

Áhrif loftslagsbreytinga á innviði eru af margvíslegum toga og fara áhrifin eftir staðsetningu, tjónnæmi og aðlögunarhæfni. Í sumum tilvikum geta áhrifin verið jákvæð, svo sem í orkuframleiðslu sem tengist jökulám, eða neikvæð, eins og t.d. áhrif sjávarstöðuhækkunar á fráveitukerfi.

Í þessum kafla er fjallað um áhrif loftslagsbreytinga á innviði og atvinnuvegi. Fjallað er um frumatvinnuvegi (sjávarútveg og landbúnað) auk ferðamennsku og trygginga- og fjármálastarfsemi. Loks er fjallað stuttlega um önnur samfélagsleg áhrif.

Þeir innviðir sem hér er fjallað um tengjast vatnsbúskap með áherslu á fráveitu og ofanvatnskerfi, samgöngum og orkuframleiðslu, -flutningi og -eftirspurn.

11.1 Vatn og veitur

Áhrif loftslagsbreytinga á vatnstengda innviði skiptast í áhrif á vatnsveitur, áhrif á fráveitu- og ofanvatnskerfi, auk áhrifa á eftirspurn eftir vatni.

Á Íslandi hafa fáar rannsóknir verið gerðar á áhrifum loftslagsbreytinga á innviði vatnsbúskapar, svo sem á fráveitu og ofanvatnskerfi^{1,2} og vantar því frekari rannsóknir á þeim tengslum. Líklegt má telja að úrkomubreytingar á öldinni muni hafa áhrif á forða og gæði vatnsbóla³ og ef landbúnaður og ræktun eykst leiði það til aukinnar notkunar á köldu vatni. Mögulegt er að þetta hafi áhrif á vatnsbúskap ákveðinna veitusvæða en rannsóknir vantar til að staðfesta slíkt⁴. Áður hefur verið minnst á áhrif loftslagsbreytinga á afrennsli jökuláa í kafla 5 en þau hafa verulegar afleiðingar fyrir vatnsauðlindina.

Þekkt er erlendis að í auknum hita og þurrki er notkun á vatni hvað mest, m.a. vegna vökvunar gróðurs. Stundum er því reynt að draga úr eftirspurn og þeim tilmælum beint til almennings að draga úr vökvun garða. Ef þurrkar verða algengari hér á landi⁵ er hugsanlegt að eftirspurn eftir vatni gæti aukist á sama tíma og staða vatnsbóla verði erfiðari, en frekari rannsókna er þó þörf.

Nokkur þekking er á áhrifum veðurs á vatnsgæði og gæði neysluvatns á Íslandi hafa verið rannsökuð ítarlega⁶, en frekari rannsóknir á hugsanlegum áhrifum loftslagsbreytinga á gæði neysluvatns vantar⁷.

11.2 Fráveita og ofanvatnskerfi

Samkvæmt lögum um uppbyggingu og rekstur fráveitna telst til fráveitu „allt lagnakerfi sem flytur frárennsli frá heimilum, stofnunum, atvinnufyrirtækjum, götum, gönguleiðum, lóðum og opnum svæðum, svo sem tengingar við einstakar fasteignir, niðurföll, svelgir, brunnar, safnkerfi, tengiræsi, sniðræsi, stofnlagnir, yfirföll og útræsi. Til fráveitu teljast einnig öll mannvirki sem reist eru til meðhöndlunar eða flutnings á frárennsli, svo sem hreinsivirki, dælu- og hreinsistöðvar og set- og miðlunartjarnir”⁸ (mynd 11.1).

Meginhlutverk fráveitukerfa er að flytja fráveituvatn, bæði skólþ og ofanvatn, frá uppsprettu að viðtaka. Með viðtaka er átt við það svæði sem fráveituvatn er leitt til. Á Íslandi eru í notkun tvennskonar fráveitukerfi; einföld og tvöföld. Í flestum eldri byggðum á Íslandi eru einföld kerfi í notkun, og það var ekki fyrr en í lok 7. áratugarins sem lagning tvöfaldr kerfa varð algengari. Í einföldum kerfum rennur skólþ og ofanvatn í sömu lögnunum, en í tvöföldum kerfum er skólþ og ofanvatn aðskilið. Einföld kerfi hafa þann galla að við mikla úrkomu getur skólþblandað regnvatn flætt upp í kerfið, þau auka álag á skólþhreinsistöðvar og skólþblandað regnvatn getur borist óhreinsað í viðtaka um yfirföll. Líkur eru á að það flæði upp í kerfið ef yfirföll eru virk/opin vegna mikillar úrkomu og sjávarstaða er há á sama tíma¹.

Ýmsir þættir hafa áhrif á virkni fráveitukerfa, svo sem sjávarföll og hæð sjávarborðs (ef sjórinn er viðtaki getur flóðahæð skilað sér inn í kerfin), landhalli og grunnvatnsstaða. Dæmi um þætti þar sem loftslagsbreytingar geta haft áhrif á fráveitukerfi eru aukin úrkoma og úrkomuákefð, hækkandi grunnvatns- og sjávarstaða og fjölgun hlákudaga. Þessir þættir geta haft áhrif hver um sig eða í samverkan við aðra þætti. Dæmi um þetta síðarnefnda er hækkun sjávarstöðu og áhrif á grunnvatn. Hækkun sjávarstaða minnkar hæðarmun (fallhæð) í lagnakerfum og því hægist á rennsli. Það leiðir til þess að flutningsgeta kerfanna minnkar sem aftur getur leitt til flóða upp úr kerfinu. Hækkun sjávarstaða getur einnig leitt til hærri grunnvatnsstöðu sem þýðir að meira grunnvatn rennur inn í kerfið¹. Aukin úrkomuákefð eykur síðan á vandann². Lítið er til af birtum rannsóknum um þetta efni, en hér verður fjallað um tvær rannsóknir, en í báðum voru skoðuð áhrif loftslagsbreytinga á fráveitukerfi á tilteknum svæðum í Reykjavík. Í annarri

rannsókninni var sjávarstaða á eiðinu milli Reykjavíkur og Seltjarnarness athuguð, í hinni voru áhrif úrkomu í miðborginni skoðuð í samhengi við þéttingu byggðar á svæðinu.

Í fyrri rannsókninni voru skoðuð áhrif hækkunar sjávarborðs á fráveitukerfi¹. Niðurstöður hermireikninga bentu til þess að regnskúr með 10 ára endurkomutíma gæti þegar valdið flóðum í kerfinu, en sjávarstaða þyrfti einungis að hækka um 0.2 m til þess að minni regnskúr með 5 ára endurkomutíma færi að valda flóðum. Við enn hærri sjávarstöðu, eða hækkun um 0.35 metra getur 4 ára regnskúr farið að valda flóðum og við 0.7 metra hækkun getur 3 ára regnskúr valdið flóðum. Eins og fram kom í grein 5.3 lætur nærri að sjávarstaða í Reykjavík hækki um 2 mm á ári og hækkunin kann að verða hraðari verði hnattræn hækkun sjávarstöðu mikil (tafla 5.8). Niðurstæða þessarar rannsóknar var að fráveitukerfi Reykjavíkurborgar munu verða fyrir neikvæðum áhrifum vegna hækkunar sjávar og aukinnar úrkomuákefðar.

Í síðari rannsókninni voru metin áhrif aukinnar flóðahættu og tíðni skúra fyrir fráveitukerfi miðbæjar Reykjavíkur². Hönnun fráveitukerfa byggist á úrkomuskúrum af tiltekinni ákefð og endurkomutíma (sk. hönnunarskúrum). Niðurstöður straumfræðilegrar hermunar gaf til kynna að flæða myndi upp úr 6% af brunnum í hönnunarskúr með 5 ára endurkomutíma. Ef loftslagsbreytingar yllu því að ákafi rigningar myndi aukast um 20% myndi brunnum sem flæða í 5 ára skúr fjölga um 70% og rúmmál yfirborðsvatns aukast um 80%. Ef jafnframt var gert ráð fyrir þéttingu byggðar og 20% aukningu á afrennslisstuðli, þá gæti rúmmál flóða þrefaldast. Þessar niðurstöður staðfesta veikleika í gömlum fráveitukerfum með sameiginlegar regn- og skólplagnir.

Ofangreindar rannsóknir benda til þess að fráveita í a.m.k hluta Reykjavíkur sé ekki í stakk búin til að mæta hækkunum á sjávarborði eða aukinni úrkomuákefð og því er nokkur aðlögunarþörf í þessum kerfum. Þessar tvær rannsóknir byggðust þó á upplýsingum sem að sumu leyti eru úreltar⁹ og eru því ófullnægjandi grunnur til að byggja stefnumótun á. Þetta rennir frekari stoðum undir fyrri ábendingar um að veruleg þörf sé á frekari rannsóknum á áhrifum loftslagsbreytinga á frárennslis.

11.1.2 Aðlögun – aðgerðir

Í fráveituhandbók Samorku¹⁰ eru leiðbeiningar um

hönnunarforsendur fráveitna. Ekki er sérstaklega fjallað um sjávarstöðuhækkun eða úrkomuákefð í leiðbeiningunum. Með hliðsjón af ofanskráðu er þó líklegt að ráðast þurfi í aðlögun á eldri fráveitukerfum. Aðgerðir til aðlögunar geta falist í^{11,12}:

1. Breyttum hönnunarforsendum þar sem „loftslagsbreytingastuðull“ er notaður við ákvörðun á stærð lagna¹¹.
2. Aðskilnaði við sjóinn (dæling, einstreymis- og lokubúnaður, rekstraröryggi).
3. Auknum afköstum kerfa (sverari lagnir, geymslur, ofanvatnslausnir, tvöföldun hitaveitukerfa).
4. Uppbyggingu svæða sem geta tekið við umframvatni¹².

Hafa ber í huga að endurbygging hefðbundinna lagnakerfa neðanjarðar veldur raski og óþægindum, ásamt því að vera kostnaðarsöm. Þjóðir heimsins hafa því verið að leita í æ ríkara mæli til blágrænna regnvatnslausna, sem byggjast á því að aftengja regnvatnslagnir frá skólplögnum og veita vatninu í náttúrulega farvegi ofanjarðar¹³.

Blágrænar regnvatnslausnir eru m.a. græn þök, tjarnir, regnbeð og svelgir, sem hægja á rennsli og miðla vatni á yfirborði með ísigi í jarðveg og upptöku plantna. Auk vatnsmiðlunar stuðla blágrænar ofanvatnslausnir að líffræðilegum fjölbreytileika og geta bætt svæði til afþreyingar og heilsuþökunar innan borgarmarka. Þær hafa því ýmsa kosti í borgarumhverfi.

Byggðaþróun og þétting byggðar hefur einnig áhrif á kröfur til frárennslis. Í grein 12.1.3 er rætt um sjávarflóð og skipulagsmál og tiltekin eru ýmis atriði sem standa þarf vel að. Má þar nefna skýr ákvæði um lágmarks-gólfkóta á lágsvæðum og tryggja eftirfylgni með þeim. Einnig sýnir reynslan að flætt getur í bílakjallara við truflanir í fráveitukerfi¹⁴ og mikilvægt að hönnun þeirra taki tillit til þess. Á áhættusvæðum ætti að forðast að setja spennistöðvar, viðkvæm kerfi og geymslur sem tryggja eiga örugga varðveislu verðmæta í kjallara.

Eins og kom fram hér að framan vantar frekari rannsóknir sem leggja má til grundvallar aðgerðum til aðlögunar að loftslagsbreytingum. Skortur er á nauðsynlegum upplýsingum til að meta hvernig breyta þarf hönnunarforsendum fráveitu og ofanvatnskerfa. Meðal annars þarf frekari rannsóknir á aftakaúrkomu og áhrifum loftslagsbreytinga á hana, bæta þarf mælinet

Mynd 11.1 Dælustöð við ströndina í Reykjavík. Ljóst er að loftslagsbreytingar geta haft veruleg áhrif á frárennsli, en rannsóknna er þörf til að meta aðlögunarþörf og leggja til grundvallar stefnumótun. (Mynd eign Veitna ohf. Birt með leyfi eigenda.)



úrkomu á þéttbýlisstöðum, betur þarf að skoða áhrif sjávarstöðubreytinga á frárennsli, huga þarf að uppfærslu hönnunarstuðla, bæði hvað varðar aftakaúrkomu og afrennsli. Loks skiptir máli að ábyrgð ólíkra aðila (veitna, sveitarfélaga og ríkis) sé vel skilgreind¹⁵.

11.2 Orka

Áhrif loftslagsbreytinga á orkukerfið skiptast í framleiðslu, flutning og eftirspurn. Tafla 11.1 sýnir helstu þætti sem gætu skipt máli á Íslandi¹⁶.

Vægi þessara þátta er mismikið og eins eru sum áhrif

nokkuð vel þekkt (t.d. samspil bráðnunar jökla og vinnanlegrar vatnsorku) en önnur mun óvissari (t.d. áhrif hlýnunar á rafmagnstruflanir vegna slydduisingar). Þessi atriði verða rædd betur í næstu greinum.

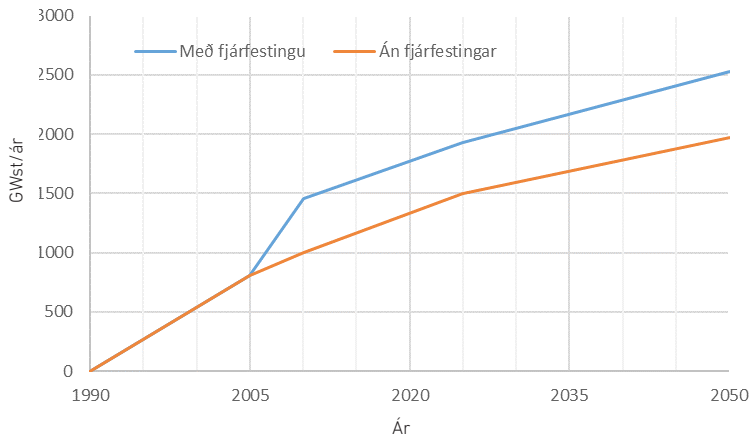
11.2.1 Framleiðsla

Í skýrslu vísindanefndar frá árinu 2008 var fjallað um áhrif loftslagsbreytinga á vatnsorkuframleiðslu hér- lendis, sem byggist að langmestu leyti á virkjun jökulvatns. Raktar voru niðurstöður líkanreikninga til könnunar á áhrifum loftslagsbreytinga á afkomu jökla og þar með á afrennsli. Sviðsmyndir sem notaðar voru

Hluti orkukerfis	Innviðir	Loftslagsbreytingar	Áhrif
Framleiðsla	Vatnsaflsvirkjun	Aukning á rennsli vegna bráðnunar jökla	Aukin framleiðslugeta til skamms eða meðallangs tíma
		Minnkun á rennsli eftir miðja öldina þegar jöklar hafa minnkað	Minnkuð framleiðslugeta til langs tíma
	Minnkað rennsli vegna þurrka	Minni framleiðslugeta	
	Vindorkuver	Aukin hvassviðratíðni	Truflun á framleiðslu
Flutningur	Raflínur	Aukin ísing, seltuálag, vindálag	Auknar líkur á flutningstruflunum
		Aukin úrkoma, hærri hiti	Auknar líkur á flutningstruflunum
Eftirspurn	Hitaveitur Virkjanir	Aukinn sumarhiti	Minni eftirspurn eftir orku til húshitunar Aukin eftirspurn eftir orku til loftkælingar

Tafla 11.1 Áhrif loftslagsbreytinga á þætti orkukerfa.

Sviðsmyndir af orkuframleiðslu



Mynd 11.2 Aukning orkuframleiðslu (GWst/ár) vatnsaflsvirkjana Landsvirkjunar 1990–2050, skv. sögulegri þróun 1990–2010 og sviðsmynd 2010–2050. Myndin var gerð árið 2012 og sýnir að orkuframleiðsla hefur aukist um 1000 GWst/ári fram til þess árs af völdum aukins rennslis og án þess að ráðist hafi verið í stækkun virkjana. Núverandi kerfi gæti annað viðbótaraukningu upp á um 800 GWst/ár (0.8TWst/ár) fram til 2050 en með nýrri fjárfestingu (þ.e. stækkun núverandi virkjana) bætast um 500 GWst/ári við.

Í reikningunum leiddu til þeirrar niðurstöðu að rúmmál jökla miðhálandisins myndi rýrna verulega á þessari öld¹⁷. Afrennslis mun aukast að sama skapi en þeirrar aukningar gæti þó fyrst og fremst fram til 2050 því um miðbik aldarinnar munu jöklarnir hafa rýrnað mikið að flatarmáli og hörfað ofar í landið þar sem lofthiti er lægri. Líklegt er að fyrir lok aldarinnar fari aftur að draga úr rennslis. Í þessum rannsóknum kom einnig fram að aukið afrennslis og breyting á árstíðasveiflu þess mun leiða til verulegrar aukningar í nýtanlegri vatnsorku, en einnig þurfi að líta til breytinga á flóðaháttum og aðstæðum á virkjunarsvæðum í hlýnandi loftslagi, sem kann að kalla á sérstakar aðgerðir og nýjar hönnunarforstöður.

Eins og fram kemur í grein 5.1 hér að framan hafa rannsóknir síðan 2008 staðfest þessar niðurstöður í aðalatriðum. Á vegum norræna rannsóknaverkefnisins *Climate and Energy Systems (CES)*¹⁸ var einnig kannað hvernig nýta mætti viðbótarvatnsafl sem leiðir af aukningu rennslis á komandi áratugum. Eldri spár um framtíðarrennslis til miðlunarlóna byggðust eingöngu á mældu rennslis fortíðar en á síðustu árum hefur verið tekin upp ný stefna sem tekur tillit til hlýnunar loftslags og þeirrar aukningar í rennslis jökuláa sem þegar hefur mælst¹⁹.

Í CES-verkefninu og íslenska systurverkefninu *Loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á orkukerfi og samfélag (LOKS)* voru veðurgögn frá Íslandi greind og reiknaðist leitni hlýnunar 0.75°C/öld á tímabilinu 1950–1975 en 1.55°C/öld á tímabilinu 1975–2000. Samkvæmt sviðsmyndum var hlýnunin frá 2000 síðan áætluð 2.35°C/öld og gert var ráð fyrir að úrkoma ykist um 5%/öld. Sögulegum veðurgögnum var varpað til framtíðar skv. þessum

leitnitölum og rennslisspár reiknaðar skv. leiðréttum veðurgögnum, sem taka tillit til líklegrar hlýnunar. Árstíðasveifla hita og úrkomu í hinum leiðréttu veðurgögnum var einnig fengin úr líkanreikningum á vegum CES- og LOKS-verkefnanna.

Í rennslisspánum kom fram 27–84% aukning rennslis fram til 2050 í einstökum virkjuðum jökulám. Greinileg breyting verður einnig á árstíðasveiflu rennslis í hlýnandi loftslagi, vorflóð vegna leysinga á hálendinu verða fyrir á árinu og rennslis hámark síðsumars vegna jöklaleysingar fer vaxandi. Þá fer minniháttar vetrarflóðum fjölgandi.

Niðurstöður benda til að á tímabilinu 2010–2050 muni nýtanlegt vatnsafl aukast um 20%, en núverandi orkukerfi ræður einungis við um 38% þeirrar aukningar¹⁹. Við þessu má bregðast með því að auka afl virkjana og stækka miðlunarrými (mynd 11.2). Nú þegar er unnið að 100 MW stækkun Búrfellsvirkjunar og við hönnunina er byggt á rennslisspám fram til 2025 (mynd 11.3). Við hönnun er gert ráð fyrir að síðar verði hægt að stækka virkjunina um 40 MW til viðbótar, skv. spám um rennslisaukningu fram til miðrar aldarinnar. Þá hefur notkun á rennslisróðum sem taka tillit til hitabreytinga verið innleidd í hönnunarferli nýrra virkjana²⁰. Ekki er talið nauðsynlegt að breyta hönnunarviðmiðum með tilliti til flóðahættu þar sem ekki hafa komið visbendingar um að tíðni eða stærð sjaldgæfra aftakaflóða muni breytast til verri vegar vegna loftslagsbreytinga. Þess má geta að við hönnun vatnsaflsvirkjana í jökulám er tekið mið af mögulegum jökulhlaupum vegna eldgosa undir jökli.

Ekki er búist við merkjanlegum áhrifum loftslagsbreytinga á framleiðslu rafmagns frá jarðvarma en þó



Mynd 11.3 Búrfell og Búrfellsvirkjanir. (Mynd eign Landvirkjunar, birt með leyfi.)

kunna nýtingarmöguleikar á jarðhita að breytast við hop jökla.

Á heimsvísu eru áhrif loftslagsbreytinga á orkugeirann veruleg og hafa í för með sér nýjar áskoranir og verkefni. Orkuskipti frá jarðefnaeldsneyti er án efa stærsta verkefnið, en jafnvel fyrir orkuframleiðslu með endurnýjanlegum orkugjöfum, eins og tíðkast hér á landi, er þörf á aðlögun vegna loftslagsbreytinga²¹. Dæmi um þetta er aðlögun orkuframleiðslu á Íslandi að breytingum í afrennsli vegna aukinnar jöklabráðnunar²².

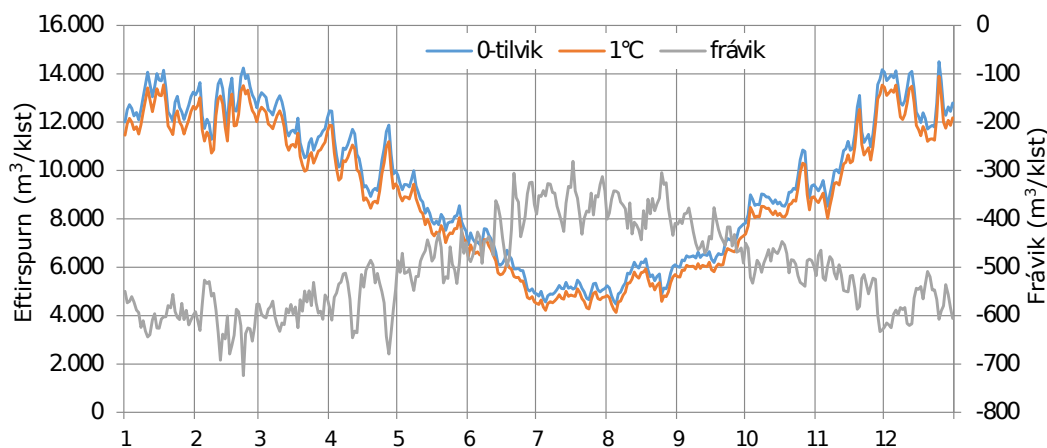
11.2.2 Flutningsnet raforku

Meginflutningslínur raforku á Íslandi eru í eigu Landsnets og spannar það net um 3300 km, en auk þess eru svæðisbundnar dreifiveitur²³. Loftslagsbreytingar gætu hugsanlega aukið áhættu fyrir flutningskerfi raforku, en litlar skipulegar rannsóknir hafa farið fram á þessu hér á landi. Í norskri rannsókn²⁴ á áhrifum loftslagsbreytinga á orkuflutningsnetið voru helstu áhættuþættir taldir vera ísing, seltuálag, vindálag, snjóþyngsli, snjóflóð og skriðuföll. Niðurstöður úr norskri rannsókninni voru að líkur á ísingu myndu minnka við ströndina en aukast eitthvað inn til landsins. Hlýrri vetur myndu draga úr snjóþunga og hættu á snjóflóðum. Aukin úrkoma gæti

hins vegar þýtt auknar líkur á skriðuföllum. Mikil óvissa væri um þróun vindálags.

Við uppbyggingu raforkuflutningskerfisins á Íslandi þarf að taka tillit til flestra þessara áhættuþátta, og að auki jarðvár (jarðskjálfta og hraunrennslis). Leiðir fyrir línur eru m.a. valdar með það til hliðsjónar að lágmarka þá áhættu sem kann að stafa af jarðvá, ofanflóðum, vindi og ísingu og snjóþyngslum²⁵. Loftslagsbreytingar eru líklegar til þess að hafa áhrif á suma þessara þátta. Eins og fram kemur í 12.1.4 eru ekki líkur á því að það dragi úr snjóflóðahættu í bráð, en hins vegar gæti hætta á skriðuföllum tengdum bráðnandi sífrera aukist. Óvíst er hvort þetta hefur áhrif á flutningsnetið, því yfirleitt er forðast að hafa línur á hættusvæðum.

Á Íslandi eru mörg dæmi um skaða á raflinum þegar slydduísing hleðst á línur samfara ofankomu og miklum vindi. Rétt eins og í Noregi er óvíst hvort vindálag aukist en þó að hlýnun kunni að fjölga rigningardögum á kostnað snjókomudaga, er ólíklegt að það hafi úrslitaáhrif á álag vegna slydduísingar á línur. Önnur tegund ísingar er svokölluð skýjaísing sem á sér stað þegar undirkældir vatnsdropar setjast á mannvirki. Slíkt er fágætt neðan 300 m yfir sjávarmáli og hlýnun gæti hækkað þau mörk. Erfitt er að meta mögulegar



Mynd 11.4 Eftirspurn vatns miðað við 1°C hlýnun. Tölur á lárétta ásnum eru númer mánaðar.

breytingar á öðrum veðurþáttum sem valdið geta tjóni á raforkunetinu, s.s. eldingum og seltuálagi.

Hvað raforkuflutningsnetið varðar á mikilvæg áhættustýring sér stað þegar línur er valinn staður. Könnun í líkingu við þá norsku sem minnst var á hér að framan þyrfti þó að gera fyrir Ísland. Á grundvelli slíkrar könnunar væri betur hægt að taka tillit til mögulegra áhrifa loftslagsbreytinga á áhættuþætti við staðarval.

Óbein áhrif loftslagsbreytinga á raforkuflutningsnetið, eru m.a. þau að aðgerðir til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda, t.d. með rafvæðingu samgangna, geta haft áhrif á þær kröfur sem gerðar eru til netsins²³.

11.2.3 Eftirspurn

Áhrif loftslagsbreytinga á orku eftirspurn er mjög tengd orkunotkun í byggingum. Þar er annars vegar átt við rafmagnsnotkun og hins vegar eftirspurn eftir orku til húshitunar. Ekki er talið að loftslagsbreytingar hafi teljanleg áhrif á eftirspurn orku í iðnaði, en búist er við óbeinum áhrifum á orkunotkun í samgöngum vegna orkuskipta, svo sem rafvæðingar bílaflotans og rafvæðingar hafna.

Samantekt fjölmargra rannsókna á áhrifum loftslagsbreytinga á eftirspurn eftir orku í byggingum sýnir að búast má við að þörf á orku til húshitunar muni minnka, en eftirspurn eftir rafmagni gæti aukist vegna aukinnar notkunar kælitækja²⁶. Á Íslandi verður þó að teljast ólíklegt að orkuþörf skapist vegna loftkælingar innandyrna.

Rannsóknir á áhrifum loftslagsbreytinga á eftirspurn

hitaveitu á Íslandi sýna að áhrifin eru líkleg að verða nokkuð mikil þar sem eftirspurn er hita- og veðurháð. Rannsóknir á vegum Orkuveitu Reykjavíkur⁴, þar sem spálíkani var beitt til að meta áhrif 1°C hækkunar á eftirspurn eftir heitu vatni, sýndu að eftirspurn gæti minnkað um 5.3% (mynd 11.4).

Áhrif loftslagsbreytinga á eftirspurn eftir rafmagni á Íslandi eru mun óvissari enda hafa fáar rannsóknir verið birtar um það efni. Vegna áherslu stjórnvalda á rafvæðingu samgangna er líklegt að eftirspurn muni aukast. Í rannsókn frá 2010, þar sem skoðuð var áætluð orku- og aflþörf tiltekins fjölda rafbíla, var lagt mat á getu rafdreifikerfisins til að þjóna breyttu álagi²⁷. Niðurstöður sýndu að 50 þúsund rafbílur þyrftu ríflega 11.2 GWst á ári af raforku, sem er um 10% af öllu forgangorkumagni hjá Orku náttúrunnar. Dreift yfir 20 ára tímabil samsvarar þetta um 0.5% orkuaukningu árlega. Miklu máli skiptir þó hvenær sólarhringsins hleðsluálagið fellur til og hvernig það samlagast öðru álagi. Hverfi höfuðborgarsvæðisins hafa ólíka getu til þess að ráða við aukið álag og niðurstöður bentu til þess að hönnunarforsendur gætu þurft endurskoðunar við, ef til stórfelldrar rafbílavæðingar kæmi.

Með gjaldskrárívinnun, þar sem notendum byðist ódýrari orka á lágannatímum, yrðu áhrifin á heildarálag gjörólík. Með svokallaðri snjallmælavæðingu er hægt að stýra verði í samræmi við álag. Samkvæmt útekt Veitna ohf. um raforkuþörf til ársins 2040, miðað við 11.5 þúsund rafbíla, mun kerfið þola fjölgun rafbíla, ef það er álagsstýrt og styrkt í samræmi við þróun eftirspurnar²⁸.

Í úttekt sem unnin var fyrir Landsnet um möguleika

á orkuskiptum á Íslandi²⁹ voru einnig skoðaðar sviðsmyndir um rafvæðingu alls bílafloftans, einkabíla, leigubíla og hópferðabíla, í heildina um hálf milljón ökutækja. Niðurstaðan var að rafvæðing allra samgangna gæti aukið orkunotkun árið 2030 um rúmlega 2700 GWst með 743 MW hámarksaflþörf. Tegundir hleðslu-stöðva, snjallmælavæðing o.þ.h. dró verulega úr hámarksaflþörf. Umfang rafbílavæðingar í þessum sviðsmyndum er mjög mismunandi og orkuþörfin því ólík. Í þessu samhengi kann að skipta máli hvaða stefnu stjórnvöld taka varðandi ívilnanir, skattlagningu og uppbyggingu innviða.

Í fyrrgreindri skoðun á orkuskiptum voru einnig skoðuð áhrif þess að ljúka rafvæðingu fiskimjólsværksmiðja og þess að auka notkun raforku í ýmsum iðnaði á kostnað jarðefnaeldsneytis²⁹. Orkuþörf fiskimjólsværksmiðja var áætluð um 61 GWst og iðnaðar um 50 GWst. Hvað iðnaðinn varðaði var ekki ljóst hversu langt væri hægt að ganga í því að draga úr notkun jarðefnaeldsneytis.

Einnig voru skoðuð áhrif frekari landtenginga skipa, en orkuþörf skipa sem gætu skipt frá jarðefnaeldsneyti yfir í rafmagn með bættum landtengingum var metin 59 GWst og aflþörf um 17 MW. Samkvæmt niðurstöðum könnunar sem gerð var fyrir Faxaflóahafnir mætti allt að sjöfalda raforkusölu hafnanna og draga á sama tíma úr mengun og losun gróðurhúsalofttegunda. Verulegar umbætur þyrfti á flutningskerfi raforku til þess að sinna þessari orkusölu³⁰.

Loks er mögulegt að aðilar sem háðir eru kælingu á búnaði, s.s. gagnaver, leiti í frekara mæli á enn norðlægari slóðir til að minnka kælingaþörf og fá þannig hagkvæmari rekstur³¹. Hvaða áhrif þetta hefur á eftirspurn raforku á Íslandi ræðst þó af ýmsum þáttum sem ekki eru veðurtengdir, s.s. tækniþróun og endurbótum á flutningskerfum raforku í samkeppnis-löndum.

Ofangreindar niðurstöður sýna að orkuskipti munu líklega hafa í för með sér aukna eftirspurn eftir raforku á næstu árum og áratugum. Þó að mestu muni um rafbílavæðingu, getur eftirspurn einnig aukist af öðrum sökum. Mikilvægt er að hafa í huga að orkuskiptum fylgir samdráttur í losun gróðurhúsalofttegunda og í sumum tilvikum mun minni mengun. Sem dæmi má nefna að ef öll skip sem að Faxaflóahöfnunum koma væru tengd við raforkunet myndi það leiða til samdráttar losunar um 17.5 kílótonn af CO₂ ígildum árlega og

myndi einnig draga úr losun mengandi efna (SO_x og NO_x) og svifryks³⁰.

Loftslagsbreytingar og viðbrögð við þeim geta einnig dregið úr eftirspurn orku. Minni eftirspurn eftir heitu vatni til húshitunar gæti þó dregið úr raforkuþörf þar sem minna vatni er dælt í hitaveitu⁴. Einnig gæti þróun til sparneytnari raftækja haft áhrif til samdráttar í eftirspurn. Á veitusvæði Veitna hefur meðalnotkun heimilis farið úr 4900 kWh/ári árið 2009 niður í rúmlega 4200 kWh/ári árið 2016, einkum vegna breytinga í orkunotkun lýsingar og raftækja. Tilskipun ESB um bætta orkunýtni³² hefur einnig haft áhrif á meginlandi Evrópu og í tengslum við Parísar-samkomulagið hafa verið sett fram metnaðarfull markmið í þessu sambandi³³.

11.3 Samgöngur

Samgöngur skiptast í vegasamgöngur, siglingar og flugsamgöngur og eru helstu innviðir samgangna vegakerfi, hafnir og flugvællir. Tafla 11.2 er byggð á væntanlegum áhrifum loftslagsbreytinga á samgöngugeirann í Evrópu³⁴. Gera þarf þann fyrirvara að birtingarmyndir loftslagsbreytinga kunna að vera aðrar á Íslandi en á meginlandi Evrópu, auk þess sem aðstæður í samgöngum eru ólíkar. Þannig er óvíst hvort tíðni illviðra breytist á Íslandi, en óveður kunna hins vegar að breytast á siglingaleiðum til Íslands (sjá nánar umfjöllun í 12.1.1). Eins er hafís ekki lengur veruleg ógn fyrir strandsiglingar við Ísland, en samdráttur í hafís á öldinni kann að skapa möguleika á siglingum á norðurheimskautssvæðinu (sjá umfjöllun í grein 11.3.2). Í fyrri skýrslu vísindanefndar var bent á að borgarísjökum á siglingaleið nærri landinu kynni að fjölga sem kann að skapa hættu, sérstaklega ef skipaumferð eykst. Ekki er sérstaklega fjallað um flugsamgöngur í þessari samantekt.

11.3.1 Vegasamgöngur

Í skýrslu Vegagerðarinnar og Vegsýnar frá 2010 er mögulegum áhrifum loftslagsbreytinga á vegasamgöngur og vegagerð skipt í fimm flokka. Flokkarnir eru: áhrif á vetrarþjónustu, uppbygging vega og slitlaga, ræsi og brýr, vegir og mannvirki við strendur og aðrir þættir³⁵. Eftirfarandi umfjöllun er byggð á þeirri skýrslu nema annað sé tekið fram.

Hvað varðar vetrarþjónustu falla veðuráhrif í tvo

Gerð samgangna	Innviðir	Loftslagsbreytingar	Áhrif á innviði
Vegasamgöngur	Vegir	Hlýrri sumur	Bráðnun slitlags Skemmri líftími slitlags, malbiks og brúa Aukin hætta á gróðureldum
		Aukin ofankoma og flóð	Skemmdir á vegum Flóð á vegum Flóð í ræsakerfum Skriðuföll Óstöðugleiki undirlags
		Aukin tíðni óveðra	Skemmdir á samgöngumannvirkjum Trjágróður getur teppt umferð
		Almenn áhrif	Lægri ferðahraði Lokanir vega Truflun á flutningskerfum Hærri viðgerðar- og viðhaldskostnaður
	Vegir á strandsvæðum	Hærri sjávarstaða	Skemmdir vegna flóða Rof á strandsvæðum Lokanir vega
	Fjallvegir	Minna frost í jörðu	Minni stöðugleiki undirlags Skriðuföll, m.a. vegna þiðnandi sífrera
Flugsamgöngur	Flugvællir	Hlýrri sumur	Aukin þörf á kælingu á jörð Skemmri líftími flugbrauta
		Aukin ofankoma og flóð	Flóðahætta Skemmdir á ræsum og brúm
		Aukin tíðni óveðra	Vindskemmdir á flugbrautum, aðreinum og byggingum
		Hærri sjávarstaða	Flóð á flugbrautum
		Almenn áhrif	Lokun flugvalla Hærri viðhaldskostnaður
Siglingar	Flutningur á hafi	Breytingar á sjávarstöðu	Siglingaleiðir kunna að verða fyrir áhrifum vegna breytinga á setmyndun við grynningar
		Breytingar á skilyrðum í hafi	Aukin illviðri og ölduhæð hafa áhrif á skip og siglingar
		Ólík hlýnun lofts og sjávar	Breytingar á þokutíðni
		Færri dagar undir frostmarki	Minni vandamál vegna ísingar
		Minni hafís	Nýjar siglingaleiðir Lengra siglingatímabil
	Hafnir	Aukin illviðratíðni	Skemmdir á höfnum, brimvarnar- og skjólgörðum
		Hærri sjávarstaða	Flóð á hafnarsvæðum og skemmdir vegna flóða Rof á tengibrautum
		Lægri sjávarstaða	Dýpi innsiglingar og við kanta verður of lítið
		Aukin ofankoma, flóð/ skriðuföll	Flóðahætta
		Nýjar siglingaleiðir	Þörf fyrir stækkun/endurnýjun hafna fyrir stærri skip
		Almenn áhrif	Truflun á flutningskerfum Aukinn viðhalds- og viðgerðarkostnaður

Tafla 11.2 Yfirlit um áhrif loftslagsbreytinga á innviði samgangna í Evrópu.

flokka; snjómokstur og hálkuvarnir. 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 getur það aukið þörf fyrir hálkuvarnir. Hálsa verður til við ákveðnar veðuraðstæður sem annars vegar eru tengdar stöðugu hitastigi undir frostmarki, en hins vegar þegar veghiti fellur undir frostmark. Ef hitasveiflur um frostmark (svokallaðar *frostþíðusveiflur*) verða tíðari og meiri getur það aukið þörfina á hálkuvörnum.

Veðurfar hefur áhrif á burðarþol vega og endingu slitlaga. Skemmdir geta orðið vegna beinna áhrifa vatns þegar vatn kemst inn í burðarlög vega. Áhrifin verða mest við mikinn umferðarþunga. Frostþíðusveiflur hafa áhrif á niðurbrot steinefna í vegum og eru slit og skemmdir á burðarlögum vega vegna þungaumferðar mestar á vorin þegar efstu lög vega þiðna, sem og í umhleypingum. Veldur þetta broti í slitlagi og holu-myndun. Líklegt er því að aukin úrkoma og hitasveiflur muni hraða niðurbroti vega, og þá sérstaklega samfara þungaumferð.

Veðurtengd áhrif á ræsi og brýr tengjast einkum rennslistoppum, en loftslagsbreytingar hafa áhrif á ýmsa þætti sem ákvarða stærð þeirra, s.s. úrkomuákefð, snjóalög (sem geta lagt til flóða í asahláku) og dreypni (sem er 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 og greiningar hingað til hafa ekki gefið tilefni til þess að endurskoða hönnunarforsendur.

Breytingar á meðalrennsli eða ársúrkomu geta haft áhrif á grunnvatnsstöðu sem hefur áhrif aftur á burðarþol vega. Breytingar á vatnafari, svo sem vegna jöklabreytinga, geta einnig haft áhrif á innviði. Dæmi um þetta er hvarf Skeiðarár yfir í farveg Gígjukvíslar en fleiri dæmi eru til³⁶.

Vegir og önnur vegamannvirki við strendur geta orðið fyrir áhrifum vegna hækkunar sjávarborðs og aukinnar tíðni óveðra sem leiða til aukinnar tíðni flóða og strandrofs. Þessar áhættuþættir eru helst til staðar fyrir strandvegi og vegfyllingar í sjó.

Meðal annarra þátta má nefna aurskriður og grjóthrun, sem iðulega eru tengd miklu úrkomuveðri og valda hættu fyrir vegfarendur og truflun á vegasamgöngum. Því gætu loftslagsbreytingar fjölgað slíkum atburðum. Grjóthrun tengist einnig

frostþíðuverkun í bergi,- og geta loftslagsbreytingar því haft áhrif á tíðni grjóthruns á vegakerfinu. Í þessu samhengi má benda á vaxandi hættu á skriðuföllum vegna þiðnandi sífrera sem rædd er í grein 12.1.4.

11.3.1.1 Aðlögun í vegasamgöngum

Í nágrannalöndunum hefur mikil rannsókn- og þróunarvinna átt sér stað um aðlögun í vegasamgöngum. Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar hefur stuðlað að því að fylgst hefur með þeirri vinnu, og að gert hefur verið yfirlit um líkleg áhrif loftslagsbreytinga á íslenska vegakerfið. Árið 2012 var lögð fram tillaga að stefnumörkun fyrir Vegagerðina um aðlögun að loftslagsbreytingum³⁷. Í skýrslunni kemur fram að aðlögun að loftslagsbreytingum getur einkum verið með tvennu móti; annars vegar með aðgerðum til þess að koma í veg fyrir óæskilega atburði eða tjón, og hins vegar með aðgerðum til þess að draga úr afleiðingum óæskilegra atburða. Kostnaður vegna aðgerða eða aðgerðaleysis ræður för, en jafnframt er mikilvægt að taka tillit til hönnunarlíftíma mannvirkja og hraða loftslagsbreytinga. Þá er bent á það að styrkja þarf þekkingargrunn um loftslagsbreytingar og áhrif þeirra, t.d. með auknum og samhæfðum skráningum á áhrifum veðurs á vegakerfi og umferð.

Lagt var til að Vegagerðin skrái í gagnagrunn skemmdir og frávik í rekstri vegakerfisins vegna veður-tengdra atburða, s.s. úrkomu og flóða, sjógangs og skriðufalla. Tilgangur slíks gagnagrunns er að unnt verði að viðhafa tölulega áhættugreiningu á áhrifum loftslagsbreytinga og þörf fyrir aðlögun eftir því sem tím-inn líður. Almenn er hönnunarlíftími vegamannvirkja stuttur í ljósi hægfara loftslagsbreytinga. Ekki eru komnar fram vísbendingar um merkjanleg áhrif í nánustu framtíð, sem talið er að bregðast þurfi við á þessum tímamarki, og því voru í aðurnefndri skýrslu ekki lagðar fram tillögur til aðgerða umfram það sem fram hefur komið um nauðsyn á uppbyggingu og viðhaldi þekkingar, skráninga og mælinga.

Bent er á að með reglulegu viðhaldi mannvirkja megi oft taka mið af loftslagsbreytingum án umtalsverðs kostnaðarauka, en vert er að áreitta að með dýrari mannvirkjum sem ætlaður er langur líftími (s.s. brýr og jarðgöng) eykst óvissa um umfang og áhrif loftslagsbreytinga á líftíma mannvirkjanna.

Helstu atriði tillögu til stefnumótunar miðuðu að því að Vegagerðin tryggði að uppbygging og rekstur

vegakerfisins tæki mið af áhrifum loftslagsbreytinga 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 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.

11.3.2 Siglingar

Hvað loftslagsbreytingar varðar eru tveir helstu áhættuþættirnir fyrir hafnarmannvirki aukin illviðratíðni og hækkun sjávarstöðu. Að því gefnu að þessir þættir breytist hægt má sinna þeim sem hluta af eðlilegu viðhaldi hafnarmannvirkja. Landris er þó einnig talið hafa áhrif og þá sérstaklega í Hornafirði. Vegna bráðnunar jökla (sjá kafla 5.1) er búist við töluverðu landrasi og mun það hafa áhrif á sjávarfallastrauma um Hornafjarðarós. Því getur þurft að bregðast við til að viðhalda dýpi í innsiglingunni til Hornafjarðarhafnar. Fjallað er um sjóvarnir í grein 12.1.3.6 en helstu verkefni, m.a. uppbygging sjóvarna, eru tiltekin í sjóvarnaáætlun. Uppbygging og lagfæringar á höfnum eru tekin fyrir í hafnaáætlun sem er eins og sjóvarnaáætlun hluti af samgönguáætlun.

Í umfjöllun um loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á siglingar hefur verið mikið fjallað um væntanlega aukningu siglinga á norðurslóðum. Skiptast slíkar siglingar í tvo flokka, annars vegar siglingar innan norðurslóða (*inter-Arctic*) og hins vegar siglingar yfir ishafið (*trans-Arctic*)³⁸ milli Norður-Atlantshafs og Kyrrahafs. Væntingar eru um að hvort tveggja geti aukist í kjölfar loftslagsbreytinga, annars vegar vegna aukinnar vinnslu auðlinda á norðurslóðum, svo sem olíu, og hins vegar vegna möguleika á styttri flutningsleiðum á sjó, þá aðallega fyrir vöruflutninga þar sem ávinningurinn er mikill vegna sparnaðar á eldsneyti þó að óvíst sé með tímasparnað³⁸. Hvort tveggja myndi þó knýja á um umtalsverðar fjárfestingar í innviðum hafna fyrir sérhæfð

og stór skip. Að auki er búist við að skemmtiferðaskip ferðist í auknum mæli á norðurslóðir.

Þrjár nýjar siglingaleiðir eru helst í umræðunni, norðvesturleiðin sem liggur að mestu við strendur Kanada; miðleiðin yfir norðurskautið (transpolar route) sem er líklegust að gagnast Íslandi mest³⁸ og norðausturleiðin sem liggur við strendur Rússlands. Nú þegar er norðausturleiðin opin fyrir siglingar síðsumars og hafa verið reistir innviðir í Rússlandi vegna þessa. Haustið 2013 fór sérhannað vöruflutningaskip norðvesturleiðina, en sú leið telst þó enn lokuð og væntanlega munu ár eða áratugir líða uns leiðin yfir norðurskautið (miðleiðin) opnast fyrir almennar siglingar³⁹.

Þrátt fyrir að spár geri ráð fyrir því að hafis hverfi að sumarlagi að mestu leyti á Norður- Íshafi á þessari öld⁴⁰ er óvíst hversu mikil áhrif auknar siglingar á norðurslóðum muni hafa á Íslandi, þá sérstaklega vegna þess að óvíst er hvort flutningsaðilar sjái sér hag í viðkomu á Íslandi. Einnig eru ýmsir aðrir óvissu- og áhættuþættir varðandi siglingar á norðurslóðum³⁸. Þættir þessir tengjast meðal annars:

1. Öryggismálum.
2. Skilyrðum til siglinga svo sem vegna lausra ísjaka og myrkurs.
3. Kostnaði þar sem sérútbúin skip, sem hafa verið hönnuð til flutninga á hafísslóðum, eru dýrari en hefðbundin skip, bæði í smíði, rekstri og tryggingum.
4. Umhverfismálum þar sem náttúra norðurslóða er afar viðkvæm fyrir öllu áreiti. Meðal áhyggjuefna eru mengun frá útblæstri, losun skaðlegra efna í sjóinn, losun sorps og skólps, mengunarslys af völdum olíu eða annarra hættulegra efna, tilfærsla lífvera sem eiga uppruna á öðrum svæðum og truflun vegna hávaða og árekstra.

Vegna þessa hefur Alþjóðasiglingamálastofnunin unnið á undanförunum árum að gerð sértækra reglna um smíði, búnað, siglingar og rekstur skipa á heimskautasvæðum⁴¹. Reglurnar, sem nýlega hafa verið samþykktar, gilda um kaupskip sem eru í alþjóðlegum siglingum og taka þær bæði til öryggis- og umhverfisþátta⁴².

Einnig getur ýmislegt annað torvelað siglingar á norðurslóðum. Til dæmis krefjast rússnesk yfirvöld þess að fulltrúar þeirra fari um borð í öll skip sem sigla

Mynd 11.5 Ræktun spergilkáls á Flúðum. Líklegt er að jarðrækt og framleiðsla ýmissa fódur- og fæðuplantna muni halda áfram að aukast hérlendis. (Mynd í eigu Sölufélags garðyrkjumannanna. Birt með leyfi eiganda.)



í lögsögu landsins og taki við stjórn þeirra á meðan. Þeir ákveða einnig hvort ísbrjótur séu kallaðir til aðstoðar⁴².

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

11.4 Frumatvinnuvegir

11.4.1 Landbúnaður og skógrækt

Eins og fram kom í kafla 9 hafa áhrif hlýnunar eftir 1990 verið umtalsverð á alla ræktun jarðargróðurs á Íslandi. Þessum veðurfarsbreytingum hafa þó einnig fylgt ákveðin neikvæð áhrif, svo sem aukið álag af sníkjudýrum á gróður og aukin þurrkvandamál við ákveðnar aðstæður. Í kafla 12.1.5 er fjallað um gróðurelda, en hættan á þeim eykst í takt við þurrka og aukinn gróður. Með frekari hlýnun mun ræktunaröryggi nýjategunda sem eru hér á norðurmörkum sínum aukast enn, og nýjar tegundir verða teknar til ræktunar í landbúnaði, garðyrkju og skógrækt. Hafa ber í huga að ef nýjar tegundir eru viðkvæmari fyrir sveiflum í veðurfari en þær sem fyrir eru getur tjónnæmi aukist. Eftir sem áður má telja líklegt að jarðrækt og framleiðsla ýmissa fódur- og fæðuplantna (mynd 11.5) muni halda áfram að aukast hérlendis, en þó mun sauðfjárrækt,

mjólkurframleiðsla og hrossarækt væntanlega halda stöðu sinni lengi enn sem hinn hefðbundni landbúnaður. Ekkert bendir til þess að dýrahald muni verða fyrir neikvæðum áhrifum við þá hlýnun sem spáð er (sjá nánar í kafla 9.2).

Eins og fram kom í umfjöllun um áhrif séðra loftslagsbreytinga hérlendis á framleiðslu grænmetis til manndis á síðustu áratugum eru það oft aðrir þættir en ræktunaraðstæður sem virðast ráða bæði afkomu og sveiflum í garðyrkjuframleiðslu (sjá nánar í kafla 9.2). Það sama á væntanlega við um rekstrarafkomu í öðrum frumatvinnuvegum, svo sem í landbúnaði og skógrækt. Þó að betri ræktunarskilyrði gefi vissulega forsendur fyrir fjölbreyttari landbúnaði og skógrækt þá ráða aðrir þættir; svo sem gengissveiflur, heimsmarkaðsverð á skógar- og landbúnaðarafurðum, stjórnvaldsákvæðanir um ytri umgjörð frumatvinnugreinanna, og ekki síst vilji bændanna sjálfra til nýsköpunar, vöruþróunar og markaðssetningar, sennilega meiru um hvernig þróunin verður til framtíðar. Það er því afar erfitt að spá fyrir hvaða áhrif væntanleg hlýnun mun hafa á þessar atvinnugreinar.

Meira þarf af þverfaglegum rannsóknum og greiningum sem tengja saman spár um loftslagsbreytingar og líkleg áhrif á þessa frumatvinnuvegi hérlendis, en slík vinna hefur verið mjög takmörkuð hingað til, m.a. miðað við hvað hefur verið gert í nágrannalöndum^{43,44,45}.

Það eru talsverðir möguleikar til aukinna mót-



Mynd 11.6 Á síðustu árum hefur verið mikill vöxtur í sjókvíaelði. Myndin sýnir sjókvíar á Dýrafirði fyrir utan Þingeyri. (Ljósmynd: Sigurður Pétursson.)

vægisáðgerða gegn loftslagsbreytingum innan landbúnaðargeirans á Íslandi. Um 13% af nettólosun gróðurhúsalofttegunda frá Íslandi eru frá landbúnaði og skyldum greinum, fyrir utan losun frá framræstu votlendi, en losunin hefur minnkað lítillega frá 1990⁴⁶. Af ýmsum ástæðum gætu landbúnaður, skógrækt, landgræðsla og endurheimt votlendis verið mun mikilvægari í að minnka nettólosun gróðurhúsalofttegunda hér á landi en mögulegt er í öðrum ríkjum Evrópu⁴⁷.

11.4.2 Fiskveiðar og fiskeldi

Fjallað er um sjávarútveg í köflum 2.5–2.7 og 4.7.2 í síðustu skýrslu vísindanefndar⁴⁸. Þar er rakið samband þorskveiða og hlýinda fyrir miðbik síðustu aldar, en þorskgöngur frá Grænlandi juku þá stærð veiðistofnsins við Íslandsstrendur. Einnig var fjallað um áhrif kuldakasts á síðari hluta aldarinnar á síldveiðar og áhrif hlýnunar sjávar upp úr aldamótum á loðnugöngur. Loks var fjallað um hagrænar rannsóknir á áhrifum loftslagsbreytinga á fiskveiðar. Niðurstaða þeirrar umfjöllunar var sú að langtímaáhrif loftslagsbreytinga yrðu líklega ekki mikil, þótt samdráttur í fiskgengd gæti haft veruleg neikvæð áhrif á þjóðarbúið til skamms tíma lítið.

Þrátt fyrir mörg dæmi um áhrif loftslagsbreytinga á útbreiðslu og framleiðni einstakra fiskistofna er, vegna flókins samspils í vistkerfinu, mjög erfitt að meta eða

spá fyrir um almenn eða samanlögð áhrif loftslagsbreytinga í þjóðhagslegu samhengi. Takmarkaðar rannsóknir hafa verið gerðar á því hvernig veðurfar og veðurfarsbreytingar kunna að hafa áhrif á líf og afkomu þeirra sem tengjast fiskveiðum og fiskvinnslu á Íslandi, sem og á þjóðarbúskapinn í heild. Í Arctic Climate Impact Assessment⁴⁹ frá 2005 er fjallað um áhrif loftslagsbreytinga á sjávarútveg og fiskeldi. Niðurstöður skýrslunnar benda til þess að hækkun á hita sjávar er líkleg til að hafa að jafnaði jákvæð áhrif á sjávarútveg á norðlægum slóðum. Sérstaklega er tekið fram að jákvæð áhrif á þorsk og uppsjávarfiska séu líkleg. Aðrar rannsóknir styðja þessa niðurstöðu⁵⁰, sem og umfjöllun í kafla 7. Séu þær breytingar sem orðið hafa í útbreiðslu fiskistofna á undanförunum árum teknar sem vísendingar um það sem kann að verða á næstu árum má vissulega búast við auknum aðflutningi suðlægra fisktegunda inn á norðlæg, og þar með talin íslensk, hafsvæði. Makrillinn sem gengið hefur á Íslandsmið í miklum mæli undanfarin ár og verið mikil búbót – en útflutningsverðmæti makrills árið 2016 voru tæpir 10 milljarðar – er hins vegar viss undantekning enda ekki vitað um sambærilega göngustofna á nálægum hafsvæðum sem hingað gætu leitað. Hvað nýjar eða viðbótartegundir varðar er líklegt að í flestum tilfellum verði um að ræða stofna sem þola aðeins takmarkaða veiði. Miðað við núverandi fullnýtingu sjávarfangs ætti hins vegar ekki að gera lítið úr þeim möguleikum sem

kunna að felast í stofnum sem nú eru lítið sem ekkert veiddir. Eins og áður sagði hafa einungis fáar rannsóknir verið gerðar á þjóðhagslegum áhrifum á Ísland vegna hlýnunar sjávar, og hafa þær sýnt að þau verði fremur lítil, en þó jákvæð⁵¹. Þessar rannsóknir taka þó einungis til áhrifa vegna hlýnunar sjávar, en ekki súrnunar.

Í kafla 6 var fjallað um súrnun hafsins. Þar kom fram að kalkmyndandi lífverur eru taldar einkar viðkvæmar fyrir áhrifum súrnunar og lækkandi kalkmyndunarstigs. Í lífríki hafsins við Ísland eru fjölmargar kalkmyndandi tegundir. Sumar þeirra, t.d. hörpuðiskur og kræklingur, eru nýttar sem matvæli og kalkþörungur eru teknir af hafsbotni til kalkframleiðslu. Margar aðrar tegundir eru hluti af fjölbreytilegu lífríki og hafa mismikla þýðingu í fæðuvef hafsins. Vegna eiginleika sjávar og lágs sjávarhita er kalkmettunarstig í hafinu við Ísland og í Norðurhöfum almennt náttúrulega lágt. Vegna aðstæðna í hafinu við Ísland er súrnun sjávar miklu örrari þar en að jafnaði í heimshöfunum. Því er líklegt að sjórinn hér við land hafi súrnað meira eftir iðnvæðingu heldur en heimshöfin að jafnaði. Við þessar aðstæður er lítið svigrúm áður en súrnun leiðir til undirmettunar kalks. Líklegt er að neikvæð áhrif súrnunar á lífríki og vistkerfi sjávar komi fyrr fram á íslenskum hafsvæðum en að jafnaði í heimshöfunum. Það er erfitt að spá hver verði áhrif súrnunar hér við land. Þau geta birst óvænt eins og gerðist í ostruræktun við Kyrrahafsstrendur N-Ameríku. Áhrifin geta komið fram, án athygli, hjá tegundum í lífríkinu sem ekki eru nýttar. Í kafla 6 kemur því fram að áhrif súrnunar gætu haft neikvæð þjóðhagsleg áhrif, gagnstætt við áhrif hlýnunar.

Telja má líklegt að nýtanlegar auðlindir sjávar muni betur geta staðið af sér og aðlagast áhrifum loftslagsbreytinga ef unnt verður að halda áhrifum eða álagi frá þáttum eins og fiskveiðum, raski á búsvæðum og mengun í lágmarki⁵².

Fiskveiðar, sem tekist hefur að stjórna þannig að þær séu sjálfbærar, eru til langs tíma lítið án vafa betur undir það búnað að bregðast við eða standast áraun vegna loftslagsbreytinga en þær sem það á ekki við. Mikilvægt er því að veiðar á Íslandsmiðum verði ekki meiri en framleiðsla fiskistofna leyfir og að þær verði stundaðar með sjálfbær og ábyrg langtímanýtingarsjónarmið í

huga. Í fyrri skýrslu vísindanefndar var þannig bent á að við óbreytt ástand væri tækifæri til þess að stækka þorsstofninn og auka afrakstur af honum. Skynsamleg stjórnun veiða gæti því skipt meira máli varðandi efnahagsleg og samfélagsleg áhrif en breytingar umverfisþátta vegna loftslagsbreytinga.

Reynslan sýnir að íslenskur sjávarútvegur er fremur kvikur og getur brugðist skjótt við þegar á reynir. Því má leiða að því líkur að hann ætti, alla vega á næstu áratugum, að geta brugðist við hægfara breytingum eins og þeim sem verða munu á lífríkinu samfara loftslagsbreytingum. Hvað hins vegar kann að verða í langri framtíð samfara áframhaldandi loftslagsbreytingum er á þessu stigi ekki unnt að segja fyrir um.

Fiskeldi er vaxandi atvinnugrein á Íslandi og voru útflutningsverðmæti þess tæpir 10 milljarðar króna árið 2016. Lax og silungur eru um 95% af útflutningstekjum greinarinnar. Á síðustu árum hefur verið mikill vöxtur í sjóvkíaelði á laxi og ársframleiðslan jókst úr 3000 tonnum í 8400 tonn á árunum 2014 til 2016. Útgefin leyfi voru um 20 þúsund tonn snemma árs 2014 og eru nú um 40 þúsund tonn. Sótt hefur verið um frekari aukningu á eldi og haustið 2017 biðu umhverfismats umsóknir um samanlagt tugþúsunda tonna eldi⁵³. Í umhverfismati er yfirleitt fjallað ítarlega um aðstæður í umhverfi, s.s. sjávarhita og hafstrauma⁵⁴. Hins vegar eru áhrif loftslagsbreytinga á aðstæður til eldis ekki skoðaðar sérstaklega.

Áhrif loftslagsbreytinga á fiskeldi eru bein og óbein. Bein áhrif verða vegna hitabreytinga, súrnunar sjávar og breytinga á tíðni og styrk ofsaverða og geta áhrifin bæði verið neikvæð (t.d. súrnun) og jákvæð. Breytingar á sjávarhita í átt til kjörhitastigs eldistegunda (t.d. laxfiska), gætu leitt til lítills háttar framleiðniaukningar, meðal annars við Ísland^{55, 56, 57}. Hins vegar gæti súrnun sjávar unnið á móti þessum jákvæðu áhrifum hlýnunar. Óbein áhrif verða vegna breytinga á mörkuðum⁵⁷. Óbein markaðstengd áhrif af loftslagsbreytingum á fiskeldi koma bæði fram í afurðaverði og í áhrifum á þær tegundir sem algengar eru sem fóður í fiskeldi en möguleg áhrif þessa á íslenskan iðnað eru óljós.

Ljóst er að frekari rannsóknir er þörf á mögulegum efnahags- og samfélagslegum áhrifum loftslagsbreytinga á bæði sjávarútveg og fiskeldi.



Mynd 11.7 Íshellirinn í Langjökli. (Mynd eign Into the Glacier ehf. Birt með leyfi eigenda.)

11.5 Aðrir atvinnuvegir

11.5.1 Ferðaþjónusta

Fjöldmargar rannsóknir hafa verið gerðar á áhrifum loftslagsbreytinga á ferðamennsku, allt frá rannsóknum á breytingum á eftirspurn ferðamanna til breytinga á mögulegu framboði afþreyingar og ferðamannastaða sem og samspili þarna á milli⁵⁸.

Rannsóknir á eftirspurn sýna að loftslag og veður hefur mikil áhrif á val ferðamanna á áfangastaðum. Sýnt hefur verið fram á að ferðamenn eru í auknum mæli að sækja á staði sem líklega hverfa vegna loftslagsbreytinga, svo sem jökla eða staði sem líklegt er að sökkvi í sjó⁵⁹. Staðir sem byggjast á aðdráttarafli jökla eru sérstaklega viðkvæmir⁶⁰. Veðurskilyrði til ferðamennsku hafa einnig áhrif þar sem aukinn lofthiti annars vegar getur haft jákvæð áhrif á eftirspurn⁶¹ eftir útsýnisferðum á norðlægum slóðum, svo sem í Alaska⁶², en neikvæð áhrif á eftirspurn og skilyrði til m.a. skíðaiðkunar. Rannsóknir sýna einnig að loftslag og veður skiptir meira máli fyrir ferðamenn af suðlægum slóðum en aðra, og að straumur ferðamanna er líklegur að aukast til norðlægra og kaldari áfangastaða⁶³. Ennfremur er líklegt að breytingar á útbreiðslu dýrategunda vegna loftslagsbreytinga muni hafa áhrif á ferðaþjónustu⁶⁴.

Rannsóknir sem mikilvægar eru fyrir Ísland snúast að einhverju leyti um breytingar á möguleikum til

jöklaferða og jöklatengdri afþreyingu sem og skíðaiðkunar og áhrifum þessara þátta á straum ferðamanna, innlendra sem erlendra⁶⁵. Hafa ber þó í huga að loftslagsbreytingar og hop jökla hefur þó ekki aðeins áhrif á framboð af jöklaferðum til framtíðar, heldur einnig áhrif á aðgengi sem og öryggi ferðamanna í náninni framtíð^{66,67}. Nú þegar höfum við séð áhrif loftslagsbreytinga á ferðamannastaði á Íslandi, svo sem á ásókn á skíðasvæðin sem eitt sinn voru í Kerlingarfjöllum og í Hveradölum.

Rannsóknir á efnahagslegum og samfélagslegum afleiðingum vegna áhrifa loftslagsbreytinga á ferðamennsku benda þó í heildina til jákvæðra efnahagslegra áhrifa í kaldari löndum a.m.k. til skamms tíma⁶⁸, en fáar slíkar rannsóknir er að finna sérstaklega fyrir Ísland⁶⁹. Þó má færa rök fyrir því að þar sem jöklar eru eitt þeirra náttúrufyrirbrigða sem líkleg eru að hverfa vegna loftslagsbreytinga sé líklegt að ásókn í jöklaferðir muni aukast, en hver langtíma áhrifin geta orðið er óljóst. Jöklaferðir og jöklatengd afþreying er mikilvæg fyrir Ísland í efnahagslegu tilliti, þá sérstaklega fyrir ákveðin sveitarfélög en áætlað er að nálægt 600 þúsund manns hafi heimsótt Vatnajökulsþjóðgarð árið 2015⁷⁰ og 45 þúsund manns hafi heimsótt ísgöngin í Langjökli árið 2016 (mynd 11.7). Ljóst er því að frekari rannsókn er þörf.

11.5.2 Trygginga- og fjármálastarfsemi

Loftslagsbreytingar hafa þegar áhrif á rekstur váttryggingafélaga í formi tjóna af völdum storma, fellibylja, flóða, skógarelda, hitabylgna o.fl.⁷¹, því auknar tjónagreiðslur koma fram í tjónatölum váttryggingafélaga og endurtryggjenda⁷². Afleiðingar loftslagsbreytinga fyrir váttryggingafélög eru í formi eigna- og/eða manntjóna, en einungis hluti tjónanna fæst bættur af váttryggingafélögum^{71, 73}.

Milliríkjanefnd Sp (IPCC) er meðal þeirra sem fjallað hafa um efnahagslegt tjón og tjón váttryggingafélaga í skýrslum sínum⁷⁴. Milliríkjanefndin gerir ráð fyrir aukinni tíðni og alvarleika tjóna af völdum loftslagsbreytinga víða um heim⁷⁵. Á sama tíma eru endurtrygginga- og váttryggingafélög talin gegna lykilhlutverki í að draga úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda og því að stuðla að aðlögun að loftslagsbreytingum⁷⁶. Í 8. grein Parísarsamkomulagsins er t.d. komið inn á mikilvægi þess að draga úr og meta tjón og skemmdir vegna loftslagsbreytinga og notkun váttryggingatengdra lausna í því skyni⁷⁷.

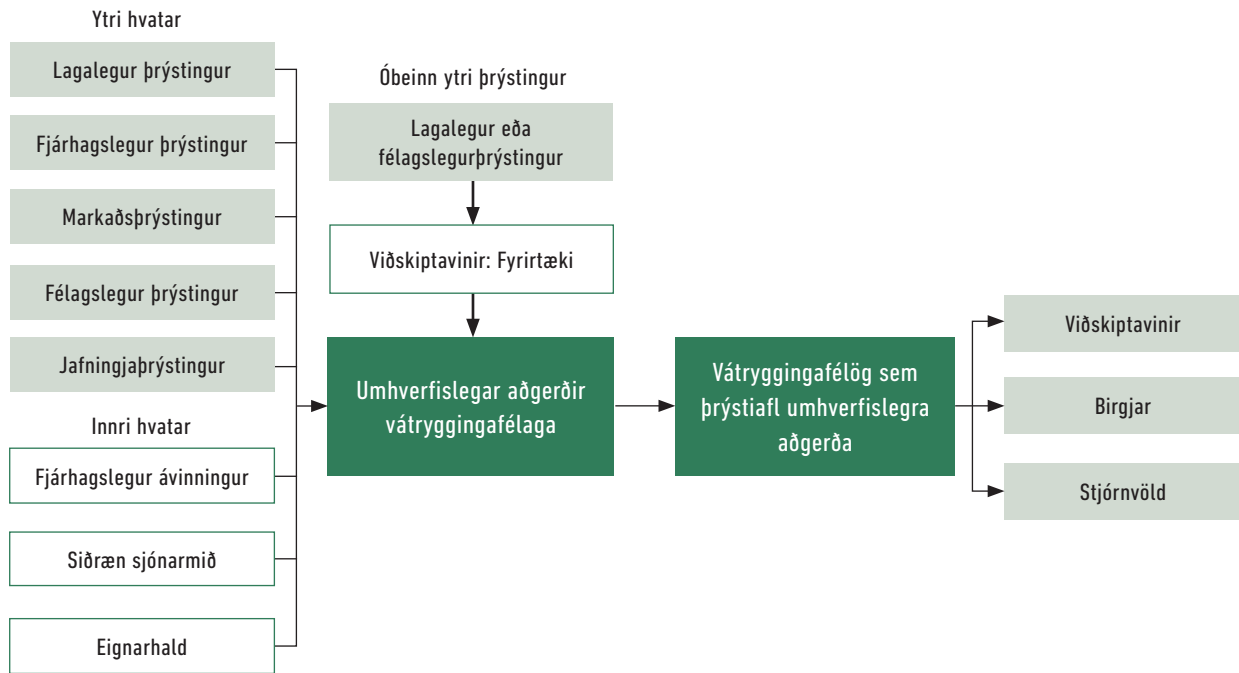
Í hvítbók Evrópusambandsins um aðlögun að loftslagsbreytingum kemur fram að nota meggi váttryggingar og aðrar tegundir fjármálaþjónustu sem lið í að ná fram markmiðum um aðlögun, en einnig er tilgreint að í einhverjum tilvikum þurfi að koma til váttryggingalausnir studdar af stjórnvöldum eða að samevrópsk váttryggingalausn sé þróuð⁷⁸. Spurningar um fáanleika (availability) og nægjanleika (adequacy) hamfaratrygginga í Evrópu og hvort þörf sé á úrbótum á markaði fyrir hamfaratryggingar eru meðal umræðuefna í grænbók Evrópusambandsins um náttúruhamfarir og hamfarir af mannavöldum⁷⁹.

Váttryggingafélög finna fyrir vaxandi þrýstingi um að þau axli ábyrgð á sviði loftslagsmála. Þrýstingurinn endurspeglast í skýrslum sem gefnar eru út af endurtryggjendum og váttryggingafélögum, váttryggingasamtökum, hugveitum um váttryggingamál o.fl., sem og skipulagningu og þátttöku váttryggingafélaga í ráðstefnum og hringborðsumræðum um loftslagsmál innan og utan váttryggingageirans. Sem dæmi má nefna sameiginlega hringborðsumræðu Efnahags- og framfara stofnunarinnar (OECD) og Genfarsamtakanna í tengslum við COP21 í París í desember 2015, skýrslur Genfarsamtakanna o.fl.⁸⁰.

Hvötum sem þrýsta á váttryggingafélög í umhverfis- og loftslagstengdar aðgerðir má skipta upp í (1) ytri

hvata, (2) innri hvata og (3) óbeinan þrýsting⁸¹ (mynd 11.8). Lög, reglugerðir, alþjóðlegir sáttmálar, alþjóðlegir staðlar og leiðbeiningar falla undir ytri hvata. Hér má nefna lagalega kröfu Evrópusambandsins um ófjárhagslega upplýsingagjöf (non-financial reporting) sem meðal annars tekur til umhverfismála. Gerð er krafa um að skráð félög, sem og váttryggingafélög og bankar, gefi út slíkt efni⁸². Þessi krafa er einnig komin inn í héraðslög, þ.e. lög um breytingu á lögum um ársreikninga, nr. 3/2006, með síðari breytingum⁸³. Fjárhagslegur þrýstingur kemur frá endurtryggingafélögum til skaðatryggingafélaga, til að mynda í kjölfar kostnaðarsamra veðurtjóna⁸¹. Þá finna váttryggingafélög fyrir þrýstingi um nýjar lausnir, t.d. frá viðskiptavinum eða keppinautum. Sem dæmi um félagslegan þrýsting má nefna þrýsting frá umhverfisverndarsamtökum, fjölmiðlum, dómstólum eða samfélaginu. Einnig hefur komið fram jafningjaþrýstingur, þ.e. þegar fjármála- og váttryggingasamtök taka sig saman um áherslur á sviði loftslagsmála, en það setur þrýsting á félög innan viðkomandi geira um að þau vinni að lausnum sem komi atvinnugreininni í heild sinni og/eða viðskiptavinum til góða.

Varðandi innri hvata (mynd 11.8) þá geta áherslur á aðlögun að loftslagsbreytingum leitt til minni tjónakostnaðar hjá váttryggingafélögum og eru þar af leiðandi dæmi um fjárhagslegan ávinning. Siðræn sjónarmið koma einnig fram en þau fela í sér að váttryggingafélögum sé rétt og skylt að leggja loð sín á vogarskálarnar til að draga úr neikvæðum afleiðingum loftslagsbreytinga. Eignarhald váttryggingafélaga er einnig talið skipta máli þegar kemur að hlutverki félaganna í að takast á við loftslagsbreytingar, þ.e. að gagnkvæm félög (mutual enterprises) geti leyft sér að horfa lengra fram í tímann hvað ábyrgð og lausnir varðar en félög með takmarkaða ábyrgð (limited liability companies) sem eru undir þrýstingi um að sýna jákvæða útkomu í ársfjórðungsuppgjörum⁸¹. Óbeinn ytri þrýstingur (mynd 11.8) hefur komið fram varðandi smærri váttryggingafélög, en það þýðir að þau grípa ekki til aðgerða nema fram komi lagaleg krafa á viðskiptavinum, þ.e. fyrirtæki, um að þau grípi til aðgerða á sviði umhverfismála en það leiðir síðan til þess að váttryggingafélög bjóði lausnir á því sviði.⁸¹ Óbeinn þrýstingur frá viðskiptavinum getur einnig komið til vegna tjóna sem viðskiptavinir eru ábyrgir fyrir eða tjóna sem hafa áhrif á rekstarkilyrði tryggðra fyrirtækja⁸⁴.



Mynd 11.8 Hvatar að umhverfislegum aðgerðum váttryggingafélaga og váttryggingafélög sem þrýstiafl um umhverfislegar aðgerðir. Myndin byggist á líkönum úr heimild 81.

Einnig er vert að benda á mikilvægi váttryggingafélaga sem þrýstiafls um umhverfislegar aðgerðir annarra aðila, nánar tiltekið viðskiptavina, birgja og samstarfsaðila og stjórnvalda (mynd 11.8). Ákvæði í skilmálum geta gert það að verkum að viðskiptavinir fá ekki bætur eða fá skertar bætur sé um síendurtekin tjón að ræða. Gera má kröfur til birgja eða samstarfsaðila á sviði tjóna um að þeir bjóði loftslagsvænar lausnir. Dæmi eru um það frá Svíþjóð að váttryggingafélag hafi bætt viðskiptavinum tjón vegna vatnsflóða, en endurkrafíð stjórnvöld um hluta tjónakostnaðar þar sem stjórnvöld hafi ekki sinnt eðlilegri uppbyggingu eða viðhaldi innviða, t.d. á holræsakerfi⁸¹.

Norræn fjármála- og váttryggingasamtök hafa fjallað um loftslagsmál, t.d. á ráðstefnum, í rannsóknum, með þróun lausna, í skýrslum og í sameiginlegri yfirlýsingu um loftslagsmál sem gefin var út árið 2009^{85,86}. Í yfirlýsingunni kom fram að megináherslur norræna váttryggingageirans á sviði loftslagsmála verði á:

- Nýjar vörur bæði hjá líf- og skaðatryggingarfélagum
- Samþættingu loftslagssjónarmiða við fjárfestingastefnur
- Tjón og forvarnir taki mið af loftslagssjónarmiðum
- Loftslagsáhrif eigin rekstrar verði minnkuð og

- Að kerfisbundið verði fylgst með aðgerðum váttryggingageirans á þessu sviði.

Þess ber að geta að Samtök fjármálafyrirtækja á Íslandi (SFF) voru ekki aðili að loftslagsyfirlýsingu systursamtakanna á Norðurlöndum. Aftur á móti eru Sjóvá-Almennar tryggingar hf. (Sjóvá), Tryggingamiðstöðin hf. (TM), Váttryggingafélag Íslands hf. (VÍS) og Vörður tryggingar hf. (Vörður) aðilar að yfirlýsingu Reykjavíkur og Festu, miðstöðvar um samfélagsábyrgð fyrirtækja, um að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda og að mæla árangur í loftslagsmálum⁸⁷.

Meðal lausna sem kostuð hefur verið af Norrænum váttryggingafélögum er VisAdapt™ en það er veflausn sem gerir einstaklingum kleift að meta hvernig loftslagsáhætta getur haft áhrif á heimili þeirra⁸⁸.

Hlutverk váttryggingafélaga í aðlögun að loftslagsbreytingum má í grófum dráttum skipta upp í þrjá flokka^{89,90}:

1. **Kjarnastarfsemi:** Geta váttryggingafélaga til samtrygginga; áhættudreifing í gegnum alþjóðlegan váttryggingamarkað; framboð á nýjum váttryggingalausnum; forvarnaaðgerðir; geta til að auka vitund viðskiptavina og annarra haghafa á loftslagsáhættu;

áhrif til breytinga á hegðun váttryggingataka, t.d. með hærri iðgjöldum eða með undanþáguákvæðum eða skilyrtum ákvæðum í váttryggingaskilmálum; endurbyggingar í kjölfar tjóna með það að markmiði að fyrirbyggja framtíðartjón o.fl.

2. **Fjárfestingar:** Fjárfestingar í forvarnarverkefnum og viðvörunakerfum til þess að koma í veg fyrir tjón.
3. **Þekking:** Miðlun þekkingar á áhættugreiningu og áhættustjórnun; greining og miðlun upplýsinga um tjónatíðni, tegundir tjóna og eigna í áhættu; samstarf við stjórnvöld um skipulagsmál og endurbætur á byggingarreglugerðum o.fl.

Viðlagatrygging Íslands, opinberir sjóðir og einkarekin váttryggingafélög veita váttryggingavernd sem tengist verðurfarstjónum. Fjallað verður um þá þætti í næstu tveimur köflum, þ.e. um vernd veitta af opinberum aðilum annars vegar og vernd veitta af einkareknum váttryggingafélögum hins vegar.

11.5.2.1 Viðlagatrygging Íslands, opinberir sjóðir og loftslagsmál

Viðlagatrygging Íslands (VTÍ) starfar samkvæmt lögum nr. 55/1992 með áorðnum breytingum og reglugerð nr. 642/2017. VTÍ veitir váttryggingavernd vegna náttúruhamfara. Til loftslagstengdrar áhættu sem váttryggt er gegn, má nefna skriðuföll, snjóflóð og vatnsflóð, en einnig eru bætt tjón vegna eldgosa og jarðskjálfta.

VTÍ bætir ekki tjón vegna foks, en almennu váttryggingafélögin bjóða hins vegar slíkar váttryggingar.

Skylt er að váttryggja allar húseignir á Íslandi og er váttryggingarfjárhæðin sú sama og brunabótamat sem gefið er út af Þjóðskrá. Einnig er skylt að váttryggja innbú og lausafé hjá VTÍ, sé það brunatryggt hjá váttryggingafélagi. Brunatrygging innbúa og lausafjár er valkvæð og er váttryggingarfjárhæð VTÍ sú sama og váttryggingarfjárhæð vegna brunatryggingarinnar hjá viðkomandi váttryggingafélagi. Auk þess er skylt að váttryggja hitaveitur, vatnsveitur, skulpveitur, raforkuvirki, hafnir og síma- og fjarskiptamannvirki, sem eru í meirihlutaeign ríkis eða sveitarfélags. Loks er skylt að váttryggja skiðalyftur og brýr sem eru lengri en 50 m. Váttryggingarfjárhæð þessara mannvirkja er sú sama og áætlað enduröflunarverð þeirra.

Váttryggðir bera eigin áhættu í hverju tjóni sem

nemur 5% af bótafjárhæð, þó er lágmarksfjárhæð vegna innbús og lausafjár 20 þúsund krónur, 85 þúsund krónur vegna húseigna og 850 þúsund krónur vegna mannvirkja. Ársiðgjöld eru 0.25% af lausafé og húseignum og 0.20% af mannvirkjum⁹¹. Í lögum um VTÍ segir að þegar hús eða annað mannvirki sem skemmist er reist á stað sem almennt var vitað fyrir fram að var hættulegur með tilliti til náttúruhamfara, t.d. ef mannvirki á sama stað hefur oftast en einu sinni orðið fyrir sams konar tjóni, er heimilt að lækka bætur eða synja alveg bótakröfu. Sama á við um lausafé sem geymt er í húsi eða öðru mannvirki við þær aðstæður sem hér greinir^{91,92}. Ofangreind ákvæði koma þó ekki alfarið í veg fyrir að Viðlagatrygging geti talist ábyrg fyrir tjónabótum þrátt fyrir að mistök hafi orðið við hönnun eða ákvörðun um staðsetningu mannvirkja.

Stjórni VTÍ hefur heimild til að veita styrki til forvarna, rannsókna og til fræðslu og þjálfunar björgunarliða. Heildarfjárveiting á ársgrundvelli til styrkja má ekki vera meiri en sem nemur 5% af bókfærðum iðgjöldum fyrra árs⁹³.

Ríkissjóður Íslands rekur ofanflóðasjóð, sbr. lög nr. 49/1997 um varnir gegn snjóflóðum og skriðuföllum, en um er að ræða forvarnarsjóð. Ofanflóðanefnd, sem skipuð er af ráðherra, ráðstafar fé úr sjóðnum. Það fer meðal annars í að kosta gerð hættumats, til kaupa og uppsetningar á tækjum og búnaði sem aflað er til rannsókna og eftirlits með ofanflóðahættu, undirbúning og framkvæmdir við varnavirki, sem og kostnað við viðhald þeirra. Einnig greiðir ofanflóðasjóður kostnað við kaup eða eignarnám á húseignum, lóðum eða öðrum fasteignum og af kostnaði við flutning húseigna sem eru á hættusvæðum. Þá eru dæmi þess að ofanflóðasjóður hafi greitt hlutatjón vegna vatnavaxta, t.d. bætur á vegi og drenlög⁹⁴.

Bjargráðasjóður er bótasjóður sem rekinn er samkvæmt lögum nr. 49/2009. Sjóðurinn er sjálfstæð stofnun í eigu Bændasamtaka Íslands og ríkisins og er eignahlutur hvors aðila 50%. Bjargráðasjóði er skipt upp í tvær deildir, almenna deild (A-deild) og búnaðardeild. Almenna deildin veitir fjárhagsaðstoð til einstaklinga og félaga sem hafa orðið fyrir meiri háttar tjóni af völdum náttúruhamfara, s.s. tjóna á gjaldskyldum fasteignum, girðingum, túnum og rafmagnslínum sem tengist landbúnaði, á heyi sem notað er við landbúnaðarframleiðslu, vegna uppskerubrests af völdum

óvenjulegs kals, kulda, óþurrka eða þurrka. Af náttúrutengdum tjónum bætir Búnaðardeildin meiri háttar tjón sem einstaklingar eða félög verða fyrir vegna óvenjulegs veðurfars, þar með talið tjón á búfé og afurðum búfjár sem og uppskerutjón⁹⁵.

Ríkistjórn Íslands samþykkti árið 2016, í kjölfar tillagna um fyrirkomulag bóta til tjónþola í kjölfar náttúruhamfara, að stofna sérstakan hamfarasjóð sem sinna á forvörnum og samhæfingu verkefna sem tengjast náttúruvá, greiða kostnað opinberra aðila á þessu sviði, og greiða bætur⁹⁶. Með stofnun sjóðsins eiga A-deild Bjargráðasjóðs og Ofanflóðasjóður að sameinast⁹⁷. Af stofnun sjóðsins hefur enn ekki orðið.

11.5.2.2 Einkarekin váttryggingafélög og loftslagsmál

Einkarekin skaðatryggingafélög bæta einnig tjón vegna veðurs hafi viðskiptavinir keypt sér vernd sem innifelur slíka áhættu. Tafla 11.3 sýnir þau veðurtjón sem gætu orðið bótaskyld úr ýmsum eignatryggingum.

Sé horft til reynslu erlendis frá gæti einnig reynt á bótaskyldu úr rekstarstöðvunar- og ábyrgðartryggingum sem og slysatryggingum, auk þess að líftryggingafélög gætu þurft að greiða út dánarbætur⁹⁸.

Áhætta vegna flóða er ekki tryggð af skaðatryggingafélögum. Því gætu einstaklingar setið óbættir hjá garði sé um endurtekin tjón að ræða, þar sem slík áhætta er einnig undanskilin þeirri vernd sem VTÍ veitir.

11.5.2.3 Váttryggingafélög og aðlögun að loftslagsbreytingum

Lítið er til af fyrirliggjandi upplýsingum um aðlögun VTÍ, opinberra sjóða og einkarekinna váttryggingafélaga að loftslagsbreytingum sé tekið tillit til þeirra þriggja flokka sem nefndir voru að framan, þ.e. kjarnastarfsemi, fjárfestinga og þekkingar. Hér verður gerð grein fyrir þeim upplýsingum sem þegar liggja fyrir.

11.5.2.4 Viðlagatrygging Íslands, opinberir sjóðir og aðlögun

Kjarnastarfsemi VTÍ felur í sér að veita vernd og bæta tjón sem váttryggðir verða fyrir. Þó ekki sé minnst á hugtökin aðlögun eða loftslagsbreytingar á heimasíðu VTÍ í tengslum við þá vernd sem veitt er þá gegna sjóðasöfnun, samtrygging gegn skriðuföllum, snjóflóðum og vatnsflóðum, áhættudreifing og endurtryggingasamningar mikilvægu hlutverki hvað aðlögun varðar. Á milli 20 og 30 endurtryggjendur eru aðilar að endurtryggingasamningum VTÍ, en endurtrygginga-

Váttryggingategundir	Váttryggingavernd		
	Stormur	Skýfall og asahláka	Snjóþungi
Heimilistryggingar	Já	Já	Nei
Fasteigna- og húseignatrygging einstaklinga	Já	Já	Já
Húseignatryggingar rekstraraðila	Já	Nei	Já
Sumarhúsatryggingar	Já	Já	Já
Lögboðnar brunatryggingar	Já*	Nei	Nei
Brunatrygging atvinnurekstrar (innbú)	Já	Nei	Nei
Kaskó- og húftryggingar ökutækja og vinnuvéla	Já	Nei	Nei
Húftryggingar skipa	Já	Nei	Nei

* Hægt er að kaupa viðbótarvernd gegn stormum, t.d. fyrir önnur hús á bændabýlum sem ekki falla undir húseignatryggingar.

Tafla 11.3 Váttryggingategundir og váttryggingavernd sem veitt er af íslenskum skaðatryggingafélögum. Byggt á upplýsingum frá Sjóvá. Sjá einnig tilvísun 98.

samningar eru endurnýjaðir árlega. Þá er VTÍ með samninga við verkfræðistofur og aðra aðila um framkvæmd tjónamats⁹⁹. Meðal fjárfestinga sem VTÍ hefur ráðist í og myndi gagnast hvað aðlögun varðar er heildstæð viðbragðsáætlun við náttúruhamförum sem unnin var á árunum 2012–2014, en hún var unnin með þátttöku starfsmanna VTÍ, Almannavarnadeildar Ríkislögreglustjóra, matsmanna sem unnið hafa fyrir VTÍ, starfsmanna Veðurstofu Íslands, fræðimanna frá Háskóla Íslands og starfsmanna frá einkareknum váttryggingafélögum. Um er að ræða aðferð þar sem sviðsmyndir eru notaðar til að meta umfang og áhrif mögulegra atburða á VTÍ¹⁰⁰. VTÍ er með vottað gæðastjórnunarkerfi samkvæmt ISO 9001 gæðastjórnunarstaðlinum, en auk þess að innleiða gæðastjórnunarkerfi þá hefur áhættugreining og áhættustýring verið efl. Með samtengingu við fasteignaskrá er hægt að kalla fram nákvæmar upplýsingar um byggingar á tilteknum svæðum, hvort heldur er íbúðar- eða atvinnuhúsnæði. Meðal upplýsinga sem kalla má fram eru upplýsingar um stærðir eigna, byggingarár, byggingarefni, GPS-hnit eigna, brunabótamat og fasteignamat en þessar upplýsingar auðvelda VTÍ að meta tjónnæmi eigna og áætla tjónakostnað⁹⁸.

Aukið samráð og miðlun þekkingar milli skipulagsyfirvalda og VTÍ væri mikilvægt með tilliti til aðlögunar að loftslagsbreytinum, þ.e. að tekið sé mið af váttryggingaáhættu VTÍ við gerð skipulagsáætlana⁹⁸.

11.5.2.5 Einkarekin váttryggingafélög og aðlögun

Niðurstöður rannsóknna á áhrifum loftslagsbreytinga á íslensk váttryggingafélög hafa ekki verið gerðar opinberar svo að kunnugt sé. Leit að hugtökunum loftslagsbreytingar eða aðlögun á vefsíðum Sjóvá, TM, VÍS og Varðar skilar engum árangri sem er vísbending um takmarkaða áherslu á þessa þætti. Þó hefur komið fram í viðtalsrannsókn sem fram fór árið 2010 að áhrif loftslagsbreytinga á rekstur váttryggingafélaganna eru ekki talin mikil samanborið við önnur tjón, eins og vatnstjón, og þar af leiðandi hefur slíkri áhættu ekki verið mikill gaumur gefinn¹⁰¹.

Vert er að benda á fjárfestingar í ýmsum forvarnarverkefnum og viðvörunakerfum sem váttryggingafélög hafa komið að, s.s. að senda út viðvaranir til viðskiptavina í fjölmiðlum um frágang á lausamunum sé von á stormum, kortlagningu á vindasömum svæðum við þjóðvegi landsins og viðvaranir vegna storma sem

sendar eru til atvinnubilstjóra og ökutækja með tengivagna¹⁰¹.

Ekki liggja fyrir upplýsingar um það hvort og þá hvernig greining á tjónaþróun, og þá ekki einvörðungu bótaskyldum tjónum, sé nýtt eða hvort slíkum upplýsingum sé miðlað til skipulagsyfirvalda, eða til að gera bragarbót á reglugerðum sem lúta að hönnun mannvirkja.

11.5.2.6 Samantekt um tryggingastarfsemi og aðlögun

Af framangreindu má ráða að kjarnastarfsemi VTÍ virðist ágætlega í stakk búin að styðja við aðlögun að loftslagsbreytingum, þrátt fyrir að aðlögun sé ekki tilgreind sérstaklega í þeim gögnum sem til skoðunar voru. Á þetta við um kjarnastarfsemi VTÍ, fjárfestingar og þekkingu.

Aðgengi að gögnum frá einkareknum váttryggingafélögum er takmarkaðra að öðru leyti en því að vitað er að einstaklingar og fyrirtæki geta keypt sér á frjálsum markaði tryggingavernd gegn tilteknum veðurfarsatburðum með kaupum á samsettum eignatryggingum. Viðskiptavinum stendur ekki til boða að kaupa vernd gegn flóðaáhættu hjá einkareknum váttryggingafélögum. Meðal þess sem váttryggingafélögin gera til að lágmarka tjón er að veita viðskiptavinum upplýsingar um mögulega áhættu á eignatjónum í tilvikum storma og úrkomu og þannig reyna að stuðla að hegðun sem dregur úr áhættu viðskiptavina sem og váttryggingafélaga. Ekki er vitað hvort og þá með hvaða hætti tjónaupplýsingar eru nýttar til að draga úr áhættu af veðurtjónum með endurbótum á reglugerðum sem lúta að hönnun mannvirkja. Aukið gagnsæi á þessu sviði og samnýting upplýsinga gæti gagnast þegar kemur að aðlögun að loftslagsbreytingum, sem og miðlun upplýsinga varðandi áhættugreiningu og áhættustjórnun.

Áhætta tengd flóðum, sér í lagi síendurteknum flóðum, er áhætta sem ekki fæst bætt af VTÍ eða einkareknum váttryggingafélögum enda falla slík tjón ekki undir þau viðmið sem váttryggingafélög starfa eftir, þ.e. að tjón séu skyndileg, ófyrirséð og gerist án vilja. Í þessum tilvikum færast krafan yfir á eigendur eigna um að þeir geri ráðstafanir til að staðsetja eignir ekki þar sem þær verða fyrir reglubundnum flóðum eða að settar séu upp varnir til þess að verja þær fyrir slíkum tjónum¹⁰². Hér gæti samstarf VTÍ, einkarekinna váttryggingafélaga og skipulagsyfirvalda gagnast fyrir aðlögun að loftslagsbreytingum, því vegna stærðarmunar

Þá eru sveitarfélög misvel í stakk búin til þess að samþætta áherslur um aðlögun í skipulagsáætlunum¹⁰³.

11.6 Önnur samfélagstengd mál

Í fyrri skýrslum vísindanefndar var fjallað stuttlega um önnur samfélagsleg áhrif loftslagsbreytinga¹⁰⁴. Bent var á að loftslagsbreytingar kynnu að hafa ýmsan kostnað í för með sér, bæði til að standa straum af aðlögun og bæta það tjón sem loftslagsbreytingar kunna að valda. Einnig væri líklegt að alþjóðasamfélagið myndi gera meiri kröfur til iðnríkja um fjármögnun aðgerða til að stemma stigu við loftslagsbreytingum eða aðlagast þeim. Árið 2010 stofnuðu Sameinuðu þjóðirnar Græna loftslagssjóðinn¹⁰⁵ sem meðal annars er ætlað að aðstoða þróunarlönd við að bregðast við loftslagsbreytingum. Íslenska ríkið hefur greitt til sjóðsins¹⁰⁶. Þá mun kostnaður fylgja því að uppfylla þær skuldbindingar sem Íslendingar hafa tekið á sig um samdrátt á losun gróðurhúsalofttegunda¹⁰⁷, eða því að kaupa losunarheimildir náist samdrátturinn ekki. Mótvægisáðgerðir og alþjóðamál eru rædd frekar í kafla 10.4.

Einnig var í fyrri skýrslum bent á að einn fylgifiskur loftslagsbreytinga yrði búferlaflutningar frá þeim svæðum sem verða fyrir mestu tjóni til svæða sem standa betur. Tekið var fram að Ísland og önnur norðlæg lönd væru í síðari hópnum. Í greinum 3.6 og 3.9 var rætt um skaðleg áhrif loftslagsbreytinga á samfélög sem hafa takmarkaða aðlögunargetu, eru háð loftslagstengdum gæðum, en eru skammt á veg komin í þróun. Fram kom að orsakasambengið er sjaldnast einfalt og oftast sé áraun tengd loftslagsbreytingum einn margra þátta sem valdi álagi á berskjölduð þjóðfélög. Flóttamannastofnun Sameinuðu þjóðanna hefur bent á að fjöldi fólks flýr vegna umhverfisbreytinga, s.s. flóða, þurrka og annarra náttúruhamfara. Hluta af þessum umhverfisbreytingum má líklega rekja til loftslagsbreytinga. Síðan 2008 hafi rúmlega 26 milljón manns þurft að flytja búferlum árlega vegna náttúruhamfara, fjöldinn hafi aukist á síðustu árum og verði ekki gripið til aðgerða muni aukningin halda áfram¹⁰⁸.

Tilvísanir

- 1 Grétar Mar Hreggviðsson 2010. Áhrif hækkunar sjávar á fráveitukerfi, BSc ritgerð, Háskólinn í Reykjavík.
- 2 Ásta Ósk Hlöðversdóttir, Brynjólfur Björnsson, Hrund Ólóf Andradóttir, Jónas Eliasson og Philippe Crochet 2015, Impacts of climate change on combined sewer systems in Reykjavik, *Water science and technology* 71(10) 1471-1477. doi: 10.2166/wst.2015.119. Sjá einnig umfjöllun í kafla 12.1.
- 3 B. Kløve, H. M. L. Kvitsand, T. Pitkänen, M. J. Gunnarsdóttir, S. Gaut, S. M. Gardarsson, P. M. Rossi, I. Miettinen. 2017. Overview of groundwater sources and water-supply systems, and associated microbial pollution, in Finland, Norway and Iceland, *Hydrogeology Journal* 25(4): pp 1033–1044; M. J. Gunnarsdóttir, K. M. Persson, H. O. Andradóttir, S. M. Gardarsson, 2017, Status of small water supplies in the Nordic countries: Characteristics, water quality and challenges, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220 (8) 1309-1317.
- 4 Edda S. P. Aradóttir, glærुकyningning apríl 2016.
- 5 Sjá umfjöllun um aukna úrkomu samfara hugsanlegri fækkun úrkomudaga í grein 4.5.1.
- 6 Sjá t.d. María J. Gunnarsdóttir, Hrund Andradóttir og Sigurður M. Garðarsson. 2008. Sjúkdómsvaldandi örverur í grunnvatni. Árbók VFÍ/TFÍ 2008, bls. 241-250; María J. Gunnarsdóttir, Sigurður M. Gardarsson, Jamie Bartram, 2015, Developing a national framework for safe drinking water – Case study from Iceland, In *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 218, 196-202; María J. Gunnarsdóttir, Sigurður M. Gardarsson, Gunnar St. Jonsson, Jamie Bartram. 2016. Chemical quality and regulatory compliance of drinking water in Iceland, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 219, 8,724-733; B. Kløve, H. M. L. Kvitsand, T. Pitkänen, M. J. Gunnarsdóttir, S. Gaut, S. M. Gardarsson, P. M. Rossi, I. Miettinen. 2017. Overview of groundwater sources and water-supply systems, and associated microbial pollution, in Finland, Norway and Iceland, *Hydrogeology Journal* 25(4): pp 1033–1044; M. J. Gunnarsdóttir, K. M. Persson, H. O. Andradóttir, S. M. Gardarsson, 2017, Status of small water supplies in the Nordic countries: Characteristics, water quality and challenges, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220 (8): 1309-1317.
- 7 B. Kløve, H. M. L. Kvitsand, T. Pitkänen, M. J. Gunnarsdóttir, S. Gaut, S. M. Gardarsson, P. M. Rossi, I. Miettinen. 2017. Overview of groundwater sources and water-supply systems, and associated microbial pollution, in Finland, Norway and Iceland, *Hydrogeology Journal* 25(4): pp 1033–1044.
- 8 Lög um uppbyggingu og rekstur fráveitna, 2009. Nr 9, Lagasafn. Íslensk lög 20. janúar 2017. Útgáfa 146a.
- 9 Sérstaklega er hér átt við landupplýsingar. Fjóla Jóhannesdóttir og Íris Þórarinsdóttir, Um loftslagsbreytingar og áhrif á fráveitu – hugleiðingar til Vísindanefndar. Minnisblað 20. September 2017. Sjá einnig umfjöllun í grein 12.1.7.
- 10 Sjá Brynjólfur Björnsson, Snorri Sigurjónsson og Ásta Ósk Hlöðversdóttir, 2010, Hönnun og hönnunarforsendur fráveitulagna Fráveituhandbókar Samorku 2. Kafla (www.samorka.is/utgafa-og-midlun/utgefing-efni/handbaekur).
- 11 Sjá tilvísun 4 og umfjöllun um úrkomutengd flóð í kafla 12.1.1.
- 12 Reynir Sævarsson, glærुकyningning apríl 2016.
- 13 Eyrún Pétursdóttir 2016 Lykilþættir í innleiðingu blágrænna ofanvatnslausna á Íslandi, MS ritgerð í Umhverfisverkfræði, Háskóli Íslands.
- 14 Sjá t.d. „Vatnið náði tveggja metra dýpt“ (mbl, 12. Mars 2007, www.mbl.is/greinasafn/grein/1134234).
- 15 Byggt á upplýsingum í minnisblaði í heimild 9. Sjá einnig umfjöllun í grein 12.1.7.
- 16 Byggt á: European commission 2013 Adapting infrastructure to climate change, Commission staff working document.
- 17 Skýrsla vísindanefndar 2008. grein 4.7.6. Sjá nánar tilvitnun 3 í kafla 3.
- 18 Þorsteinn Þorsteinsson og Halldór Björnsson (ritstj.) 2011. Climate Change and Energy Systems – Impacts, Risks and Adaptation in the Nordic and Baltic Countries. Norðurlandaráð, Kaupmannahöfn. TemaNord 2011:502.
- 19 Óli Grétar Blöndal Sveinsson, Úlfar Linnet & Elías B. Elíasson 2011. Hydropower in Iceland. Impacts and Adaptation in a Future Climate. Sjá kafla 10 í heimild 18.
- 20 Óli Grétar Blöndal Sveinsson 2015. Energy in Iceland: Adaptation to Climate Change DNC Policy Brief DNC2015/04.
- 21 Braun, M. & Fournier, E. 2016. Adaptation Case Studies in the Energy Sector – Overcoming Barriers to Adaptation, Report presented to Climate Change Impacts and Adaptation Division, Natural Resources Canada, 114 p.
- 22 Sjá Fine-tuning observations to better manage and design hydroelectric assets, - kafla 2 í heimildinni hér að ofan.
- 23 Landsnet, ársskýrsla 2015.
- 24 Harold Mc Innes, Bruun G, Colleuille H, Dobler A, Haakenstad H, Hisdal H, Jaedicke C, Welgaard Ø 2015. Klimaendringenes betydning for Statnett sine overføringsanlegg METreport 27-2015 ISSN 2387-4201.
- 25 Sjá t.d. grein 4.13 um áhættu- og öryggismál í Ólafur Árnason 2009 Suðvesturlínur. Styrking raforkuflutningskerfisins á Suðvesturlandi – Frummatsskýrsla. Efla hf.
- 26 Fazeli R., J. Hallgrímsson J. og Davíðsdóttir, B. 2016. Residential energy demand for space heating in the Nordic countries: Accounting for interfuel substitution, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57:1210-1226.
- 27 Guðleifur Kristmundsson og Valgerður Einarsdóttir 2010. Innleiðing rafbíla: vannýtt straumgeta í rafdreifikerfi Orkuveitu Reykjavíkur, Árbók VFÍ/TFÍ 2010. bls 253-260.
- 28 Fjalarr Gíslason, Fagstjóri rafmagns, Veitur Ohf. Glærुकyningning.
- 29 VSO Ráðgjöf. 2016. Möguleg orkuskipti á Íslandi. Samantekt á afþörf og sparnaði í losun CO₂. Kerfisáætlun 2016-2025 Landsnet-16062.

- 30 Darri Eyþórsson 2016. Forkönnun á aukinni notkun endurnýjanlegra orkugjafa við Faxaflóahafnir. Faxaflóahafnir (www.faxaflaoahafnir.is/wp-content/uploads/Forkonnun-Orkumal-i-hofnum-loka.pdf). Sjá einnig Gisli Gislason, Minnisblað varðandi útblástur skipa og landtengingar skipa. Faxaflóahafnir 27. apríl 2016.
- 31 Sjá t.d. www.stjornarradid.is/raduneyti/atvinnuvega-og-nyskopunarraduneytid/fyrri-radherrar/stok-raeda-fyrrum-radherra/2012/02/21/Formleg-opnun-Verne-gagnavers/.
- 32 Sjá ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-directive.
- 33 Sjá europa.eu/rapid/press-release_MEMO-16-3986_en.htm.
- 34 Aðlagð frá töflu 6.2 í European commission 2013. Adapting infrastructure to climate change, Commission staff working document.
- 35 Skúli Þórðarsson 2010. Loftslagsbreytingar og vegagerð: veðurfarsaðlögun í starfsemi Vegagerðarinnar, Vegsýn og Vegagerðin.
- 36 Sjá heimild 35 og umfjöllun í grein 5.1.3.
- 37 Skúli Þórðarsson 2012. Loftslagsbreytingar og vegagerð: Tillögur um aðgerðir til aðlögunar, Vegagerðin og Vegsýn.
- 38 Kjartan Eliasson 2014. Mapping Evaluation of the Future Arctic, Implications for Iceland, Thesis submitted in partial fulfillment of a Magister Scientiarum degree in Environmental Engineering, University of Iceland.
- 39 Hagsmunir Íslands á norðurlóðum - Tækifæri og viðsjár Drög. Ráðherranefnd um málefni Norðurlóða 2015.
- 40 Sjá hliðargrein 4B Hafis á norðurlóðum.
- 41 Þessar reglur eru á ensku kallaðar Polar Code, sjá www.imo.org.
- 42 Hagsmunir Íslands á norðurlóðum - Tækifæri og viðsjár Drög. Ráðherranefnd um málefni norðurlóða 2015.
- 43 Barua, SK. o.fl. 2014. Climate change and primary industries: Impacts, adaptation and mitigation in the Nordic countries. TemaNord, 2014:552, 199. doi:10.6027/tn2014-552.
- 44 Solberg, S. Ø. o.fl. 2016. Plant genetic resources and climate change. Stakeholder perspectives from the Nordic and Arctic regions. In A. Bari, A. B. Damania, M. Mackay & S. Dayanandan (Ritstj.), Applied Mathematics and Omics to Assess Crop Genetic Resources for Climate Change Adaptive Traits (bls. 13-24). Boca Raton, U.S.A.: CRC Press.
- 45 Weslien, Jan, Finér, Leena, Jónsson, Jón. Á., Koivusalo, Harry, Laurén, Ari, Ranius, Thomas & Sigurdsson, Bjarni D. 2009. Effects of increased forest productivity and warmer climates on carbon sequestration, run-off water quality and accumulation of dead wood in a boreal landscape: A modelling study. Scandinavian Journal of Forest Research, 24, 333-347.
- 46 Hellsing, Vanda Úlfur Liv, o.fl. 2017. National Inventory Report. Emissions of Greenhouse Gases in Iceland from 1990 to 2015. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Umhverfisstofnun.
- 47 Sjá nánar grein 10.4.
- 48 Sjá V2008, bls 45–53 og 103–104.
- 49 ACIA 2005. Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press, Cambridge.
- 50 Sjá t.d. Cheung, W. W., Lam, V. W., Sarmiento, J. L., Kearney, K., Watson, R. E. G., Zeller, D. & Pauly, D. 2010. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. Global Change Biology 16(1), 24-35; Barange, M., Merino, G., Blanchard, J. L., Scholtens, J., Harle, J., Allison, E. H., Allen, J.L., Holt, J. & Jennings, S. 2014. Impacts of climate change on marine ecosystem production in societies dependent on fisheries. Nature Climate Change 4(3), 211.
- 51 Arnason, R. 2003. Global warming and North Atlantic fisheries: attempting to assess the economic impact. A paper presented at the FAME workshop on Climate Changes with Focus on Natural Resources: The Biological Dimensions and the Economic Consequences, Centre for Fisheries and Aquaculture Management and Economics, University of Southern Denmark; Arnason, R. 2007. Climate change and fisheries: Assessing the economic impact in Iceland and Greenland. Natural Resource Modeling 20, 163-197; Agnarsson, S. & Arnason, R. 2006. The role of the fishing industry in the Icelandic economy, in Advances in Fisheries Economics: Festschrift in Honour of Professor Gordon R. Munro (eds T. Bjørndal, D. Gordon, R. Arnason & U.R. Sumaila). Wiley-Blackwell, bls. 239-256.
- 52 McGoodwin, J. R. 2007. Effects of climatic variability on three fishing economies in high-latitude regions: Implications for fisheries policies. Marine Policy 31(1), 40-55; Allison, E.H., Perry, A.L., Badjeck, M.C., Adger, W.N., Brown, K., Conway, D., Halls, A.S., Pilling, G.M., Reynolds, J.D., Andrew, N.L. & Dulvy, N.K. 2009. Vulnerability of National Economies to the Impacts of Climate Change on Fisheries. Fish and Fisheries 10, 173-196.
- 53 Leó Alexander Guðmundsson, Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir, Jóhannes Guðbrandsson og Sigurður Már Einarsson, 2017, Erfðablöndun eldislaxa af norskum uppruna við Íslenska laxastofna. Haf- og Vatnarannsóknir Reykjavík. HV 2017 - 031.
- 54 Sjá t.d. Fiskeldi Austfjarða, Frummatsskýrsla vegna eldis á allt að 21000 tonnum af laxi í Berufirði og Fáskrúðfirði. www.skipulag.is/skipulagsstofnun/mal-i-kynningu/safn/allt-ad-21000-tonna-framleidsla-a-laxi-i-berufirdi-og-faskrudsfirdi.
- 55 Klinger, D. H., S. Levin & J. Watson. 2017. The Growth of Finfish in Global Open-Ocean Aquaculture under Climate Change. Proceedings of the Royal Society B. 284.
- 56 Klinger, D. H., S. Levin & J. Watson. 2017. The Growth of Finfish in Global Open-Ocean Aquaculture under Climate Change. Proceedings of the Royal Society B. 284.
- 57 Food and Agricultural Organization 2016. Climate change implications for fisheries and aquaculture, FAO fisheries and agriculture circular.
- 58 IPCC, 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA, 1132 bls.

- 59 Harvey L., J. Dawson, E.J. Stewart, P. Maher & M. Lueck. 2010. Last-chance tourism: the boom, doom, and gloom of visiting vanishing destinations, *Current Issues in Tourism* 13(5) doi.org/10.1080/13683500903406367.
- 60 Wang, S., Y. He & X. Song, 2010. Impacts of climate warming on Alpine glacier tourism and adaptive measures: a case study of Baishui Glacier No. 1 in Yulong Snow Mountain, Southwestern China. *Journal of Earth Science*, 21(2), 166-178.
- 61 Amelung, B., S. Nicholls & D. Viner, 2007. Implications of global climate change for tourism flows and seasonality. *Journal of Travel Research*, 45(3), 285-296.
- 62 Yu, G., Z. Schwartz & J.E. Walsh, 2009a. A weather-resolving index for assessing the impact of climate change on tourism related climate resources. *Climatic Change*, 95(3-4), 551-573. Og einnig Yu, G., S. Zvi & J.E. Walsh, 2009b. Effects of climate change on the seasonality of weather for tourism in Alaska. *Arctic*, 62(4), 443-457.
- 63 Gössling, S. & C.M. Hall, 2006. Uncertainties in predicting tourist flows under scenarios of climate change. *Climatic Change*, 79(3-4), 163-173.
- 64 Harvey L., J. Dawson, E.J. Stewart, P. Maher & M. Lueck. 2010. Last-chance tourism: the boom, doom, and gloom of visiting vanishing destinations, *Current Issues in Tourism* 13(5) doi.org/10.1080/13683500903406367.
- 65 Hoffmann, V.H., D.C. Sprengel, A. Ziegler, M. Kolb & B. Abegg, 2009. Determinants of corporate adaptation to climate change in winter tourism: an econometric analysis. *Global Environmental Change*, 19(2), 256-264.
- 66 Welling H. & Þ Árnason 2016. External and internal challenges of glaciertourism development in Iceland, í Richins, H., Hull, J. S. (ritstj.) *Mountain tourism: experiences, communities, environments and sustainable futures* CAB International.
- 67 Welling, J 2013, *Tourism, landscapes and climate change in Iceland*, Icelandic Tourism Research Center, Akureyri.
- 68 Berrittella, M., A. Bigano, R. Roson, and R.S.J. Tol, 2006. A general equilibrium analysis of climate change impacts on tourism. *Tourism Management*, 27(5), 913-924.
- 69 Minna þarf þó á í þessu samhengi að aukning ferðamanna leiðir til aukins álags á umhverfi og náttúru sem og leiðir til aukningar í losun gróðurhúsalofttegunda.
- 70 Rögnvaldur Guðmundsson 2016. Vatnajökulsþjóðgarður: ferðamenn 2005 – 2015, Rannsóknir og Ráðgjöf Ferðaþjónustunnar.
- 71 Munich Re NatCatSERVICE. 2015. Natural loss events worldwide 2015. Geographical overview.
- 72 www.munichre.com/en/media-relations/publications/press-releases/2017/2017-01-04-press-release/index.html.
- 73 Sjá www.bankofengland.co.uk/pr/Documents/supervision/activities/pradefra0915.pdf.
- 74 Sjá www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch1s1-3-8-4.htm.
- 75 Sjá www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_en.pdf.
- 76 Sjá www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_en.pdf.
- 77 Sjá unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_english_.pdf.
- 78 European Commission 2009 *Adapting to Climate Change: Towards a European Framework for Action*, White Paper, Brussels: Commission of the European Communities.
- 79 European Commission 2013b *Green Paper on the Insurance of Natural and Man-Made Disasters*, COM2013 213 Final, Strasbourg: European Commission.
- 80 Genfarsamtökin (the Geneva Association) er alþjóðleg hugveita stærstu váttryggingafélaga í heimi, sjá upplýsingar um hringborðið á www.genevaassociation.org/events/2016/joint-oecd-geneva-association-roundtable-2015.
- 81 Lára Jóhannsdóttir 2015. Drives of proactive environmental actions of small, medium and large Nordic non-life insurance companies – and insurers as a driving force of actions. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2015.06.055.
- 82 ec.europa.eu/finance/company-reporting/non-financial_reporting/index_en.htm.
- 83 Lög um breytingu á lögum um ársreikninga, nr. 3/2006, með síðari breytingum (einföldun og innleiðing ársreikningatilskipunar 2013/34/ESB), 66. gr. d liður.
- 84 Jóhannsdóttir, L., Wallace, J. & Jones, A. 2012. The Primary Insurance Industry's Role in Managing Climate Change Risks and Opportunities. In J. A. F. Stoner & C. Wankel (ritstj.), *Managing Climate Change Business Risks and Consequences: Leadership for Global Sustainability*. New York: Palgrave Macmillan.
- 85 Sjá yfirlýsingu norrænna fjármála- og váttryggingarsamtaka á vef samtaka norskra fjármálafyrirtækja www.finansnorge.no/contentassets/ef49858d59814e17925de8e7b0574fb5/fellesuttalelsen/pan-nordic-statement-on-climate-change.pdf.
- 86 Danish Insurance Association, Finance Norway, Federation of Finnish Financial Services & Insurance Sweden. 2013. *Weather related damage in the Nordic countries – from an insurance perspective*.
- 87 Yfirlýsingu Reykjavíkur og Festu má finna á reykjavik.is/loftslagsmal-reykjavikuryfirlýsing.
- 88 VisAdapt má finna á vefsvæðinu www.climres.no.
- 89 Lára Jóhannsdóttir, Brynhildur Davíðsdóttir, Michael E. Goodsite og Snjólfur Ólafsson 2014. What is the potential and demonstrated role of non-life insurers in fulfilling climate commitments? A case study of Nordic insurers. *Environmental Science & Policy* 38: 87-106. DOI: 10.1016/j.envsci.2013.10.011.
- 90 Lára Jóhannsdóttir, Brynhildur Davíðsdóttir, Michael E. Goodsite og Snjólfur Ólafsson 2014. Insurers role in enhancing development and utilization of environmentally sound technologies: A case study of Nordic insurers. *Journal of Cleaner Production* 65: 526-538. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.09.043.
- 91 Sjá www.vidlagatrygging.is/um-vidlagatryggingu-islands.
- 92 Jóhannsdóttir, L., Wallace, J. & Jones, A. 2012. *The Primary Insurance Industry's Role in Managing Climate Change Risks and*

- Opportunities. In J. A. F. Stoner & C. Wankel (ritstj.), *Managing Climate Change Business Risks and Consequences: Leadership for Global Sustainability*. New York: Palgrave Macmillan.
- 93 Sjá www.vidlagatrygging.is/um-vidlagatryggingu-islands.
- 94 Sjá www.ruv.is/frett/ofanflodasjodur-baetir-tjon-a-siglufirdi.
- 95 Sjá www.althingi.is/altext/stjt/2009.049.html.
- 96 Sjá www.forsaetisraduneyti.is/media/Skyrslur/2012-tillogur-bota-v-hamfara.pdf.
- 97 Sjá www.forsaetisraduneyti.is/frettir/rikisstjornin-akvedur-stofnun-hamfarasjods.
- 98 Johannsdóttir, L., Wallace, J. & Jones, A. 2012. The Primary Insurance Industry's Role in Managing Climate Change Risks and Opportunities. In J. A. F. Stoner & C. Wankel (ritstj.), *Managing Climate Change Business Risks and Consequences: Leadership for Global Sustainability*. New York: Palgrave Macmillan. Tafla bls. 44.
- 99 Sjá upplýsingar um VTÍ á vefsvæðinu www.vidlagatrygging.is/um-vidlagatryggingu-islands.
- 100 Sjá www.vidlagatrygging.is/tjon/vidbragdsaaetlun.
- 101 Johannsdóttir, Lara. 2012. Nordic non-life insurer's interest in, and response to, environmental issues. Ph.D. thesis (562 bls.). Reykjavík: Viðskiptafræðideild, Háskóla Íslands.
- 102 Johannsdóttir, L. 2016. Climate change and Iceland's risk-sharing system for natural disasters. *The Geneva Papers on Risk and Insurance – Issues and Practice*. 10.1057/s41288-016-0002-7.
- 103 Lára Jóhannsdóttir, Brynhildur Davídsdóttir og Snjólfur Ólafsson. 2014. Umhverfisleg sjálfbærni Íslands: Staðan og aðkoma stjórnvalda. *Stjórnmal og stjórnsýsla*, 10(2), 445-471.
- 104 Sjá kafla 4 í V2008 og kafla 4 í skýrslu vísindanefndar árið 2001.
- 105 Sjá www.greenclimate.fund.
- 106 Sjá www.stjornarradid.is/efst-a-baugi/frettir/stok-frett/2015/11/12/Radherra-tilkynnir-um-framlog-i-Graena-loftslagsjodinn-nbsp/.
- 107 Hagfræðistofnun Háskóla Íslands. 2017. Ísland og loftslagsmál (Skýrsla nr. C17:01).
- 108 UNHCR, the environment and climate change (www.unhcr.org/uk/540854f49).

