

1 Ágrip

Umfjöllun um hnattrænar loftslagsbreytingar í þessari skýrslu byggist að mestu á nýjustu samantektum Milliríkjanefndar Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar (IPCC) sem gefnar voru út 2013 og 2014. Þær hafa verið uppfærðar þar sem þörf var á (sjá nánar kafla 3). Í skýrslunni er einnig leitast við að taka saman og gefa yfirlit um þær loftslagstengdu breytingar sem orðið hafa á náttúrufari, lífríki og samfélagi landsins frá útkomu síðustu skýrslu nefndarinnar árið 2008. Slíkt yfirlit byggist á rannsóknum fjölmargra aðila eins og lýst er í hverjum kafla (4–12). Hver þeirra byrjar á stuttri samantekt aðalatriða kaflans, en hér að neðan er ágrip af niðurstöðum þeirra allra. Einnig eru í lok þessa kafla ábendingar nefndarinnar um verkefni sem takast þarf á við, auk samantektar um á hvaða sviðum þarf helst að bæta þekkingu.

Hnattrænar breytingar

Hlýnun jarðar er óumdeilanleg og benda margar athuganir til breytinga frá því um miðbik síðustu aldar sem eru fordæmalausar hvort sem litið er til áratuga eða árþúsunda. Lofthjúpurinn og heimshöfin hafa hlýnað, dregið hefur úr magni og útbreiðslu snævar og íss, auk þess sem sjávarborð hefur hækkað og styrkur

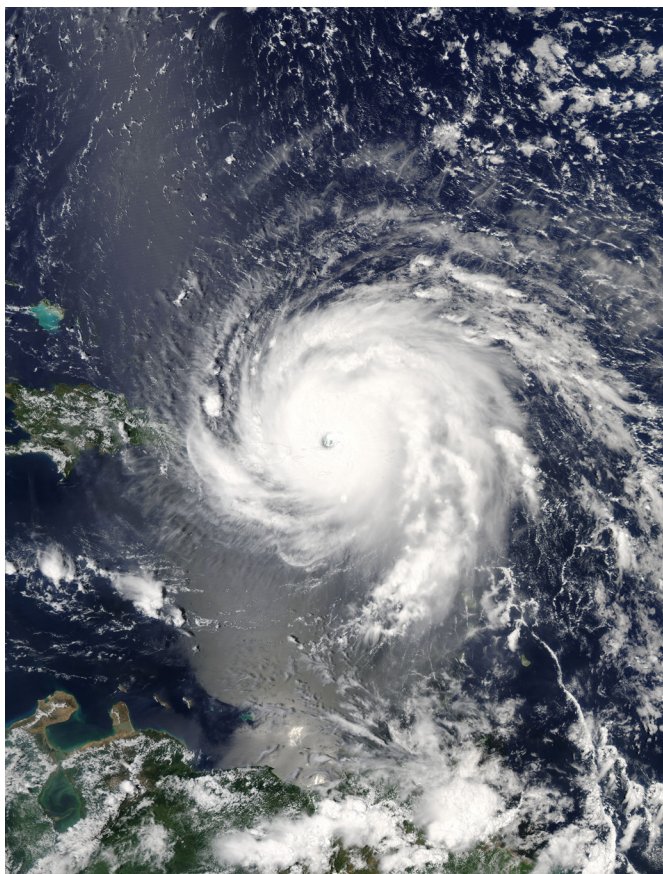
gróðurhúsalofttegunda aukist. Ennfremur hefur sýrustig sjávar lækkað um 0.1 pH stig frá iðnbyltingu og ummerki þess á lífríki eru þegar merkjanleg.

Athafnir manna, sérstaklega bruni jarðefnaeldsneytis, hafa aukið styrk gróðurhúsalofttegunda í lofthjúpnunum og er hann nú mun meiri en vitað er að hann hafi verið a.m.k. síðustu 800 þúsund ár. Styrkur CO₂ í lofthjúpnunum hefur aukist um 40% frá því fyrir iðnbyltingu. Heimshöfin hafa tekið við um 30% af koldíoxíðslosuninni og veldur það súrnun þeirra. Nýlegar rannsóknir benda til þess að frá miðbiki 8. áratugs síðustu aldar hafi hlýnun numið um 0.17–0.19°C á áratug og sveiflur yfir styttri tímabil víki ekki marktækt frá því. Hlýnun síðustu áratuga er tölfræðilega marktæk.

Loftslagsbreytingar hafa á liðnum áratugum haft áhrif á náttúru og samfélög á öllum meginlöndum og um öll heimsins höf. Áhrif loftslagsbreytinga koma greinilegast fram og eru víðtækust í náttúrufari. Sumar samfélagsbreytingar má þó einnig rekja til loftslagsbreytinga að meira eða minna leyti.

Vegna loftslagsbreytinga hefur útbreiðsla ýmissa dýrategunda breyst, bæði á landi og í sjó, auk þess sem árstíðabundin hegðan hefur raskast, með áhrifum á stofnstærð og víxlverkun við aðrar tegundir. Fjöldi

Mynd 1.1 Fellibylurinn Irma olli gríðarlegu tjóni á eyjum í Karabíska hafinu. Myndin sýnir fellibylinn um það leyti sem hann náði hámarki þ. 6. september 2017. Loftslagsbreytingar auka tíðni ýmissa veðuröfga og m.a. geta fellibyljir orðið öflugri. (MODIS mynd frá Aqua-gervihnetti NASA.)



rannsóknna, frá ólíkum svæðum og á mörgum nytjategundum, sýnir að loftslagsbreytingar hafa oft neikvæð áhrif á jarðrækt en jákvæð.

Áhrif öfga í veðurfari á umliðnum árum, svo sem hitabylgna, þurrka, flóða, fellibylja og gróðurelda, benda til þess að sum vistkerfi og mörg félagsleg kerfi séu berskjölduð og viðkvæm gagnvart núverandi breytileika í veðurfari. Loftslagstengd náttúruvá eykur annað álag og hefur oft neikvæð áhrif á lífsbjörg, sérstaklega fyrir fátækari samfélagshópa. Sagan sýnir að samfélög og hópar hafa, með misgóðum árangri þó, aðlagast breytingum í veðurfari og aftakaveðrum.

Þegar reynt er að draga úr áhættu sem loftslagsbreytingar hafa í för með sér verður að taka tillit til þess að umhverfið mun halda áfram að breytast. Ákvarðanir um aðlögun og aðrar aðgerðir í loftslagsmálum í nálægri framtíð munu hafa áhrif á þróun áhættu af völdum loftslagsbreytinga á öldinni.

Hnatræn hlýnun við lok aldarinnar verður líklega á bilinu 0.3 til 4.8°C og fer mjög eftir því hversu mikið verður losað af gróðurhúsalofttegundum. Meginlönd munu hins vegar hlýna meira en úthöfin og hlýnunin verður áköfust á heimskautasvæðum norðursins.

Nánast öruggt er að á flestum svæðum mun heitum dögum fjölga og köldum dögum fækka að sama skapi. Líklegt er að hitabylgjur verði lengri og tíðari, en eftir sem áður má stöku sinnum búast við köldum vetrum á hærri breiddargráðum. Draga mun úr úrkomu á þurrum svæðum á sama tíma og hún eykst á svæðum sem þegar eru úrkomusöm.

Verði ekki dregið verulega úr losun gróðurhúsalofttegunda mun súrnun sjávar halda áfram.

Hafis á norðurhveli mun halda áfram að dragast saman og ísinn þynnast og sífreri mun minnka. Jöklar munu tapa massa sem leiðir til sjávarstöðubreytinga. Millirikjanefndin taldi að meðalsjávarborð á árunum 2081–2100 yrði á bilinu 0.26 til 0.82 m hærra en að meðaltali 1986–2005.

Síðan skýrsla IPCC kom út hafa rannsóknir sýnt að óafturkræft hrun jökla við Amundsenflóa á vestanverðu Suðurskautslandinu sé líklega hafið. Hætta er á að þetta leiði til hruns á stórum hluta vestanverðs Suðurskautslandsins sem myndi að lokum hækka sjávarstöðu um meira en 3 metra. Slík atburðarrás tekur að öllum líkindum mörg hundruð ár og leiðir til langtíma-hækkunar á sjávarstöðu við Ísland.

Samkvæmt *Parísarsamkomulaginu* frá 2015 hyggjast aðildarþjóðir Sameinuðu þjóðanna (Sp) draga úr losun gróðurhúsalofttegunda svo að hnattræn hlýnun frá iðnbyltingu verði vel undir 2°C, en jafnframt leitast við að takmarka hlýnunina við 1.5°C. Í aðdraganda Parísarsamkomulagsins sendu aðildarþjóðir Sp frá sér yfirlýsingar um hversu mikið þær hygðust draga úr losun á næstu áratugum. Ljóst er að heildaráhrif þessara loforða munu ekki ná að uppfylla markmið samkomulagsins og því þurfa aðildarþjóðirnar að taka á sig frekari skuldbindingar. Samband hlýnunar og heildarlosunar gróðurhúsalofttegunda setur því skorður hversu mikið má losa ef hlýnun á ekki að fara yfir 2°C. Ljóst er að einungis örfáir áratugir eru til stefnu ef uppfylla á Parísarmarkmiðin.

Veðurfarsbreytingar á Íslandi

Rannsóknir sýna að frá lokum síðasta jökulskeiðs, eða í rúm 10 þúsund ár, hafa langtímahitafarsbreytingar (meðalhitinn ef litið er til áratuga eða alda) á Íslandi verið um 4°C sem er mun meira en hnattræn breytingar á sama tíma. Ísland liggur á mörkum kaldtempraðs- og heimskaualoftslags og rekja má ummerki veðurfarsbreytinga á náttúru landsins gegnum tíðina. Síðustu þúsundir ára kólnaði á landinu en þó skiptust á hlýrri og kaldari tímabil. Á 11. og 12. öld var hlýtt á landinu og nærliggjandi hafsvæðunum en kaldasta tímabil frá Ísaldarlokum virðist hafa verið á svonefndri *litlu-ísöld* sem hófst á 15. öld og lauk fyrir um 100 árum.

Frá því að samfelldar mælingar hófust fyrir miðbik 19. aldar hefur hlýnað verulega á landinu. Hlýnunin nemur um 0.8°C á öld sem er sambærilegt við hnattræna hlýnun á sama tíma. Ákafast hlýnaði fyrir miðbik síðustu aldar og svo aftur í lok hennar. Á tímabilinu 1980–2015 hlýnaði um 0.5°C á áratug, mest vestan- og norðvestantil á landinu, og á sama tíma jókst ársúrkoma frá um 1500 mm í 1600–1700 mm.

Fram að miðbiki aldarinnar er líklegt að hlýni á landinu og hafsvæðinu umhverfis það og að árin 2046–2055 verði að meðaltali á bilinu 1.3–2.3°C hlýrri en árin 1986–2005. Umfang hlýnunar ræðst aðallega af losun gróðurhúsalofttegunda. Ef losun verður mikil gæti hlýnun til loka aldarinnar (meðaltal árunna 2091–2100) numið meira en 4°C, með riflegum óvissumörkum þó. Í sviðsmyndum þar sem minna er losað er hlýnunin

til loka aldarinnar á bilinu 1.5–2.4°C og eiga lægri mörkin við ef Parísarsamkomulagið gengur eftir.

Líklegt er að hlýnunin verði meiri að vetri til en að sumri og nemur munurinn u.þ.b. helmingi af hlýnun á ársgrundvelli. Vísbendingar eru um að hlýnunin verði meiri norðanlands en sunnan og víða um landið verði meira en helmingur sumardaga við lok aldarinnar hlýrri en 15°C.

Meiri óvissa er um úrkomubreytingar en breytingar á hita en gera má ráð fyrir að úrkoma aukist um a.m.k. 1.5% fyrir hverja gráðu sem hlýnar. Í sumum reiknilíkönum er aukningin allt að 4.5% fyrir hverja gráðu. Vísbendingar eru um að úrkomuákefð geti einnig aukist og að þrátt fyrir aukna heildarúrkomu geti þurrkadögum einnig fjölgað.

Jöklar, vatnafar og sjávarstaða

Íslenskir jöklar náðu flestir mestu útbreiðslu á nútíma í lok 19. aldar. Síðan hafa þeir hopað mikið og flatarmál þeirra dregist saman um nálægt 2000 km². Á þessari öld nemur samdrátturinn rúmlega 500 km² eða um 0.35% á ári. Miklar breytingar hafa orðið á afrennslisleiðum frá jöklum. Sem dæmi má nefna að nú rennur allt vatn sem kemur undan Skeiðarárjökli í Gígjukvísl. Breytingar hafa víða orðið á jaðarlönunum við jökla, ný lón hafa myndast, sum eldri lón hafa stækkað og önnur horfið.

Gangi sviðsmyndir um loftslagsbreytingar eftir munu íslenskir jöklar halda áfram að minnka. Við lok aldarinnar gæti Langjökull, hafa tapað 85% af rúmmáli sínu en Hofsjökull og syðri hluti Vatnajökuls um 60%. Verði hlýnun í samræmi við þær sviðsmyndir þar sem mest er losað af gróðurhúsalofttegundum hverfa jöklar á Íslandi á næstu öldum. Vatnajökull mun lifa lengst, a.m.k. á hæstu fjallatindum.

Afrennsli frá jöklum mun aukast og ná hámarki upp úr miðri öldinni en byrja að dragast saman á síðustu áratugum aldarinnar. Þessar breytingar hafa áhrif á hönnunar- og rekstrarforsendur virkjana og ýmissa annarra mannvirkja.

Mælingar sýna bæði skammtíma- og langtíma-breytingar í vatnafari. Á hlýindaskeiði eftir aldamót breyttist árstíðasveifla afrennslis þannig að afrennsli að vetri jókst en að sama skapi dró úr vorflóðum. Líkanreikningar benda til þess að þessi breyting árstíðasveiflu haldi áfram ef hlýnar frekar. Gera má ráð



Mynd 1.2 Miklar skemmdir urðu á vegum í vatnsveðri sem gekk yfir Suðaustur- og Austurland síðustu dagana í september 2017. Flóð ollu vandræðum, m.a. í Suðursveit, Álftafirði, Hamarsfirði, Berufirði og í Fljótsdal. Brúin yfir Steinavötn skemmdist og vatn náði upp að gólfi brúarinnar yfir Hamarsá. Myndin, sem tekin er 27. september 2017, sýnir flóðið í Hamarsá í Hamarsdal. Ef úrkomuákefð eykst geta atburðir sem þessir orðið algengari. (Ljósmynd: Ragnar Eiddsson.)



Mynd 1.3 Okjökull var um 15 ferkílómetrar um aldamótin 1900 en hafði rýrnað í um 4 ferkílómetra einni öld síðar. Myndin er tekin 2003 og var þá ákomusvæði jökulsins horfið. Árið 2012 var hann kominn niður í 0.7 ferkílómetra og árið 2014 var hann afskráður sem jökull þar eð aðeins voru eftir þunnir, sundurlausir íslákar þar sem jökull stóð forðum. Á síðustu árum hafa margir íslenskir smájökklar látið á sjá, eða jafnvel horfið. (Ljósmynd: Oddur Sigurðsson.)

fyrir að afrennsli aukist í takt við aukna úrkomu og bráðnun jökla a.m.k. fram yfir miðja öldina en fyrst um sinn er líklegt að breyting árstíðasveiflu verði víða greinilegri en aukning afrennslis.

Rannsóknir á sjávarstöðubreytingum við Ísland benda til þess að sjávarstaða hafi hækkað meira á síðustu 500 árum en á 1500 árum þar á undan. Landris og landsig útskýra að nokkru þær sjávarstöðubreytingar sem nú verður vart við ströndina en langtímamælingum á sjávarstöðu hér á landi er mjög ábótavant. Mælingar sýna að landsig er víða við ströndina vestanlands og fyrir miðju Norðurlandi en inn til landsins er landris. Frá Austurlandi og vestur eftir suðurströndinni er landris, ákafast suðaustanlands. Þar sem land ris hraðast mun afstætt sjávarmál falla á öldinni.

Betri þekking er nú á svæðisbundnum breytingum á sjávarstöðu en þegar síðasta skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar var rituð. Bráðnun jökla hefur í för með sér breytingu á þyngdarsviði næst jöklunum sem dregur úr hækkun sjávar þar. Hækkun sjávarstöðu fjær íshvelinu verður því meiri. Bráðnun Grænlandsjökuls dregur úr hækkun sjávar hér við land, bráðnun á Suðurskautslandinu hækkar sjávarstöðu við landið.

Líklegt er að hækkun sjávarstöðu hér við land verði á bilinu 30–40% af hnattrænni meðalhækkun. Óvissu-mörk eru rifleg og hefur bráðnun íss á Grænlandi og Suðurskautslandi ráðandi áhrif á þetta hlutfall, aukid massatap á Suðurskautslandinu gæti bætt tugum sentímetra við hækkun hér við land á öldinni.

Óafturkræft hrun á jöklum á Suðurskautslandinu kann að vera hafið. Það getur á nokkrum öldum valdið margra metra hækkun á sjávarborði heimshafanna. Langtímahækkun sjávarstöðu virðist því óumflýjanleg víðast hvar við ströndina nema á Suðausturlandi.

Súrnun sjávar

Súrnun hafsins er staðreynd, staðfest með beinum mælingum. Tenging súrnunar sjávar við losun gróðurhúsalofttegunda er byggð á traustum fræðilegum grunni. Súrnun sjávar hefur nú þegar haft neikvæð áhrif á lífríki hafsins og skelfiskrækt. Til þess að komast hjá stórfelldum breytingum á lífríki og vistkerfum í höfunum þarf að minnka losun koltvíoxíðs stórlega. Framtíð hafsins ræðst af því hvernig losun manna á koltvíoxíði verður háttáð og til hvaða aðgerða verður gripið fyrir en síðar.

Vegna aðstæðna í hafinu er súrnun sjávar miklu örari hér nyrst í Atlantshafi en að jafnaði í heimshöfunum. Því er líklegt að sjórinn hér við land hafi súrnað meira eftir iðnvæðingu heldur en heimshöfin að jafnaði. Örastar breytingar eru í yfirborði sjávar og líklegt er að náttúruleg árstíðasveifla á sýrustigi í yfirborði sjávar sé komin út fyrir það svið sem lífríkið hafði aðlagast fyrir iðnvæðingu. Súrnunin er hægari í dýpri sjávarlögum en nær til botns á 1800 m dýpi þar sem súrnun er vöktuð í Íslandshafi.

Kalkmyndandi lífríki er talið einkar viðkvæmt fyrir áhrifum súrnunar. Vegna eiginleika sjávar og lágs sjávarhita er kalkmettunarstig í hafinu við Ísland og í Norðurhöfum almennt náttúrulega lágt. Við þessar aðstæður leiðir súrnun fyrr til undirmettunar kalks heldur en að jafnaði í heimshöfunum.

Líklegt er því að neikvæð áhrif súrnunar á lífríki og vistkerfi sjávar komi fyrr fram á íslenskum hafsvæðum en að jafnaði í heimshöfunum. Áhrif á efnahagslega mikilvægar tegundir geta birst óvænt eins og gerðist í ostrurækt við Kyrrahafsstrendur N-Ameríku. Áhrifin geta komið fram, án þess að eftir því sé tekið, hjá tegundum í lífríkinu sem eru ekki nýttar.

Breytingar á lífríki og ástandi sjávar

Breytileiki í hafi umhverfis Ísland, bæði milli ára og áratuga, tengist víðáttumiklum veðurfarssveiflum á Norður-Atlantshafi. Síðustu tvo áratugi hafa hiti og selta sjávar umhverfis Ísland oftast verið um og yfir meðaltali.

Breytingar á ástandi sjávar hafa á undanföllum áratugum haft veruleg áhrif á vistkerfi sjávar. Líklegt er að breyttar umhverfisaðstæður skýri að hluta breytingar í stofnstærð og útbreiðslu sumra uppsjávarfiska, sérstaklega loðnu, makríls og sandsílis. Loðnan hefur hoptað og haldið sig lengra norður í höfum og vestar yfir landgrunni Austur-Grænlands. Jafnframt hefur dregið úr nýliðun og stofninn minnkað. Á árunum 2010–2016 hafa um 1–3 milljónir tonna af makríl verið mæld innan íslenskrar lögsögu ár hvert og afli aukist úr um 40 þús. tonnum í um 150 þús. tonn. Stofnar suðlægari þorsfiskategunda (t.d. ýsu, spærings og lýsu) hafa stækkað og útbreiðslusvæði þeirra hliðrast til norðurs. Margir minni stofnar og flækingar af suðrænum uppruna, sem áður fundust helst undan suðurströndinni, hafa á undanföllum árum einnig veiðst í auknum mæli

Mynd 1.4 Á liðnum árum hefur útbreiðsla loðnu breyst og hún haldið sig lengra norður í höfum og vestar yfir landgrunni Austur-Grænlands en fyrr. Breytingar í stofnstærð og útbreiðslu sumra uppsjávarfiska, sérstaklega loðnu, makrils og sandsílis, má líklega að hluta rekja til breytinga á umhverfisaðstæðum. (Ljósmynd, Svanhildur Egilsdóttir.)



á landgrunninu fyrir norðan land. Samfara hlýindum síðustu tveggja áratuga hafa 34 áður óþekktar fisktegundir veiðt innan 200 mílna lögsögunnar, þar af 8 frá útkomu síðustu skýrslu vísindanefndar (2008).

Á hlýindatímabilinu sem hófst rétt fyrir aldamót hefur hrygningarstofn þorsks stækkað stöðugt og hefur hann ekki verið stærrí í um 40 ár. Samanburður á stofnvisítölum fyrir árin 1985–1996 (kalt tímabil) annars vegar og 2002–2015 (hlýtt tímabil) sýnir hins vegar að miðja útbreiðslu hefur aðeins í litum mæli hliðrast inn á kaldari svæði. Litlar breytingar í útbreiðslu og nýliðun styðja þá kenningu að við Ísland sé þorskurinn á kjörsvæði sínu og því vel aðlagður til að takast á við umhverfisbreytingar sem átt hafa sér stað.

Breytingar sem hafa orðið á útbreiðslu og fjölda nokkurra hvalategunda í hafinu kringum Ísland á liðnum árum eru taldar tengjast breyttum fæðuskilyrðum á landgrunninu við Ísland. Bæði landsel og útsel hefur fækkað við Ísland á undanförunum árum og kann það einnig að tengjast breyttum fæðuskilyrðum. Fækkun hefur orðið í flestum sjófuglastofnum og líklega stafar hún af breyttum skilyrðum, þ.e. breytingum í stofnum uppsjávarfiska (loðnu, sandsíli) og dýrasvífs.

Breytingar sem á undanförunum árum hafa átt sér stað í vistkerfi sjávar má að verulegu leyti rekja til hlýinda síðustu áratuga. Enn sem komið er er mjög erfitt að aðgreina náttúrulegan breytileika frá áhrifum hnattrænnar hlýnunar í hafinu umhverfis Ísland. Vistkerfi sjávar bregst við hlýnun óháð orsökum.

Breytingar á lífríki á landi

Loftslagsbreytingar, hlýnun og aukinn styrkur CO₂ í andrúmsloftinu hafa mikil áhrif á lífsskilyrði plantna og dýra á landi. Aukinn styrkur CO₂ hefur áhrif á framleiðni plantna sem lýsir sér m.a. í meiri vexti þeirra. Loftslagsbreytingar hafa áhrif á ýmsa aðra umhverfisþætti sem hafa síðan áhrif á vistkerfi, valda breytingum á búsvæðum plantna, dýra og fjölbreytni.

Tilraunir hafa sýnt að viðbrögð gróðurlenda við hlýnun eru misjöfn. Í fjalldrapamóum leiðir hlýnun til aukins vaxtar viðarkenndra tegunda á kostnað mosa. Tilraunir í misheitum lækjum sýna að með hlýnun jókst magn þörunga og blágrænna baktería á botni, innflæði næringarefna jókst og breytingar urðu í fæðuvef og vistkerfi lækjanna. Heildarfrumframleiðni, þekja og lífmassi vatnplantna og blágrænna baktería jókst með hlýnun en fjölbreytni þörunga minnkaði. Þéttleiki vatnadýra í flestum fæðuþrepum varð meiri við hlýnun en það dró úr fjölbreytileika samfélaga þeirra. Í samanburði við kaldari lækju voru því tegundirnar færri þótt framleiðnin væri meiri. Þetta veldur áhyggjum um áhrif loftslagsbreytinga á lífríki ferskvatns á Íslandi.

Tilraunir sem nýta jarðvegshlýnun frá heitum berggrunni til að rannsaka áhrif hlýnunar á þurrlandisvistkerfi sýna að vistkerfin hafa umtalsvert þol gagnvart hlýnun, um rúmlega 5°C, en þegar hlýnunin fer upp fyrir þau mörk þá „hrynja“ þau hins vegar.

Rannsóknir á gróðurfarsbreytingum á Íslandi síðustu



Mynd 1.5 Breytingar á umhverfisþáttum, þá sérstaklega fæðuskortur vegna hruns sandsílastofnsins, hafa komið hart niður á mörgum sjófuglategundum. Krían hefur af þeim sökum átt undir högg að sækja hér landi mörg undanfarin ár. (Ljósmynd: Trausti Baldursson.)

áratugi hafa leitt í ljós töluvert mikla aukningu gróðurs á landsvisu frá því um og fyrir 1990. Helstu ástæður þessarar aukningar eru taldir nokkrir samverkandi þættir, s.s. minni sauðfjárbeit á afréttum og láglandi og hlýnun sem eykur vöxt gróðurs en leiðir einnig til hops jökla og þ.a.l. landnáms gróðurs á nýjum svæðum.

Merkja má áhrif hlýnunar á margar fuglategundir á Íslandi, útbreiðslumörk breytast og breytingar verða á búsvæðum. Tíðni landnáms nýrra fuglategunda hér á landi jókst þegar leið á 20. öldina, en haftyrdill, sem er hánorræn tegund, hætti að verpa á landinu. Komu- og varptími sumra farfugla breyttist í takt við hlýnun, en breyttur varptími getur haft áhrif á afkomu margra fuglategunda. Varpfuglum í sjófuglabyggðum við norðanvert Atlantshaf hefur fækkað verulega frá síðustu aldamótum og flestir sjófuglastofnar virðast fara minnkandi, en hérlendis hafa slíkar breytingar verið sérstaklega áberandi síðustu 10–15 árin.

Áhrif loftslagsbreytinga á íslensk spendýr eru í flestum tilvikum óbein og tengjast fyrst og fremst breytingum á fæðuframboði. Umhverfisbreytingar hafa áhrif á sjávarlífverur sem geta skilað sér í breytingum á fæðuvali spendýra. Gera má ráð fyrir að fækkun í sjófuglastofnum hafi áhrif á afkomu refa, sérstaklega á þeim svæðum þar sem sjófuglar eru stór hluti fæðunnar.

Aukið og breytt gróðurfar samhliða hlýnun og skógrækt hefur leitt til breytinga á útbreiðslu smádýra (skordýra og annarra hryggleysingja) og víða sjást merki um landnám nýrra tegunda.

Áhrif loftslagsbreytinga á lífríki í ferskvatni eru flókin og mismunandi eftir gerð straum- og stöðuvatna

og aðstæðum á hverjum stað. Snjóbráðnun hefur kælingaráhrif á ár og læki en með hlýnun styttist sá tími sem ís hylur vötn. Hlýnun vatns í lækjum og ám mun í heildina leiða til aukinnar frumframleiðni, aukins vaxtarhraða en minni fjölbreytileika lífvera. Búast má við að kulvísnum tegundum fjölgi en kulsækna tegundir lífvera láti undan síga og útbreiðsla þeirra dragist saman. Rekja má mikinn samdrátt í íslenska bleikjustofninum til hlýnunar.

Hlýnandi loftslag mun auðvelda ýmsum tegundum dýra og plantna, þ.m.t. lífverum sem valda sjúkdómum, s.s. sníkjudýrum og örverum, að nema hér land og einnig hafa áhrif á útbreiðslu framandi ágengra tegunda sem fyrir eru í landinu, sem eykur skaðsemi þeirra. Mikilvægt er að fyllstu varúðar sé gætt við innflutning, notkun og dreifingu á framandi lífverum. Mótvægisáðgerðir vegna loftslagsbreytinga verða að taka tillit til verndunar líffræðilegrar fjölbreytni.

Áhrif á ræktarland og landbúnað

Innlendar rannsóknir á áhrifum loftslagsbreytinga á bæði ræktuð og náttúruleg landvístkerfi hafa verið mjög brotakerndar hingað til og því eru enn stór göt í vísindalegri þekkingu sem hamla getu til að gera traustar spár um áhrif í framtíðinni.

Nýlegar rannsóknir sýna þó að vaxtartími úthaga færist fram um 16 daga fyrir hverja 1°C hækkun í meðaljarðvegs- og lofthita vormánaða. Þá hækkaði meðalgrænkustuðull (e. NDVI) Íslands um 80% milli 1982 og 2010 og aukin gróska í úthaga hefur væntanlega

Mynd 1.6 Birkiskógar og kjarr
hafa aukið útbreiðslu sína um 9%
frá því um 1990.
(Ljósmynd: Bjarni Diðrik
Sigurðsson.)



aukið beitarþol landsins á mörgum svæðum á síðustu áratugum. Tilraunir frá 1987 til 2014 sýna að kornuppskera var 134% meiri á hvern hektara í hlýjustu árunum miðað við þau köldustu.

Margar nýjar rannsóknir sýna að bæði ræktaðir og náttúrulegir skógar vaxa nú umtalsvert betur en fyrir 1990. Flatarmál birkiskóga og birkikjarrs jókst um 9% á landsvísu með sjálfsáningu frá 1989, en slík aukning í skógarþekju á sérstað víða á Norðurheimskautssvæðinu. Í hlýindum síðustu áratuga jókst tíðni landnáms nýrra meindýra sem eru skaðleg fyrir trjárækt en skemmdirnar eru enn litlar á landsvísu miðað við vaxtaraukningu skóga á sama tíma.

Hlýrri sumur og lengri vaxtartími þýða að uppskera af hverri einingu ræktarlands mun væntanlega aukast í hefðbundnum landbúnaði, garðyrkju og skógrækt, en vetrarhlýindi og vorhret munu áfram takmarka ræktun fjölærra eða vetrareinærra fódurjurta og skógartreja sem koma úr landrænna loftslagi nágrennalandanna. Þó að uppgæðslustarf verði almennt auðveldara í hlýnandi veðurfari þá þarf umtalsverð inngríp og/eða langan tíma til að endurheimta hnignuð vistkerfi landsins.

Sumareinærar tegundir, svo sem bygg, hafrar og einær nepja, einær repja og sumarhveiti, geta haslað sér völl hér á næstu áratugum. Innri breytileiki veðurfars þýðir að kalár og búsífar í jarðrækt, skógrækt og garðyrkju munu áfram eiga sér stað á næstu áratugum. Auknir þurrkar yfir vaxtartímann vegna meiri breytileika

í úrkomu verða hugsanlega meira vandamál í ræktun hér en verið hefur á síðustu áratugum.

Þó að hlýnun hér á norðurslóðum fylgi almennt aukin gróska þá eru einnig í náttúrunni ýmis ferli sem hlýnun og/eða gróðurbreytingar geta magnað og haft mikil og óvænt áhrif á bæði ræktarland og útjörð. Dæmi sem eru þegar farin að koma í ljós hérlendis eru aukin tíðni skordýraplaga, breytingar á fartíma og beitarhegðun gæsa og álfta, og óvenju-stórir gróðureldar.

Brýnt er að auka rannsóknir á samspili loftslags og landnýtingar, þannig að traustari grunnur fái til að laga sjálfbæra nýtingu að breyttum aðstæðum.

Aðlögun að áhrifum loftslagsbreytinga

Aðlögun að afleiðingum loftslagsbreytinga verður ekki umflúin. Innan alþjóðasamfélagsins er mikið fjallað um aðlögun og gerð er krafa um að aðilar að Parísar-samkomulaginu geri áætlanir um hvernig bregðast eigi við afleiðingum loftslagsbreytinga og standi skil á áætlunum.

Í nágrennalöndunum hefur verið lögð áhersla á að aðlögun skuli byggð á haldbærum rannsóknum og þekkingaröflun. Þar hafa áhrif á ólíka geira samfélagsins verið skoðuð og reynt að meta hversu viðkvæmir þeir séu gagnvart áhrifum loftslagsbreytinga. Meðal annars hefur tjónnæmi tengt vatni, orku, sjávarauðlindum, landbúnaði og samgöngum verið kannað. Sem dæmi



Mynd 1.7 Greining á gervihnattamyndum sýnir að meðalgrænkustuðull hækkaði verulega milli 1982 og 2010. (Ljósmynd: Bjarni Diðrik Sigurðsson.)

um ógnir sem fjallað hefur verið um má nefna aukna úrkomuákefð og vaxandi illviðratíðni, hækkun sjávarborðs, hlýnun, áhrif á grunnvatn og óbein áhrif loftslagsbreytinga á loftmengun og líffræðilega fjölbreytni.

Erlendis er algengt að áhættustýringu sé beitt við stefnumótun og framkvæmd aðlögunar, sérstaklega hvað varðar ýmsa náttúruvá sem loftslagsbreytingar kunna að hafa áhrif á. Einnig er algengt að lögð sé áhersla á vistvænar lausnir við aðlögun, sérstaklega í tengslum við skipulagsmál.

Þar til nýlega var yfirleitt fjallað um aðlögun og mótvægisáðgerðir til þess að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda sem aðskilin viðbrögð, en á síðustu árum hefur það breyst því oft eru veruleg samlegðaráhrif milli aðlögunar annars vegar og mótvægisáðgerða hins vegar. Sem dæmi má nefna að *grænar lausnir* við flóðavarnir geta stuðlað að kolefnisbindingu. Þá er mikilvægt að tryggt sé að ekki sé ráðist í mótvægisáðgerðir sem dragi úr aðlögunarhæfni þjóðfélaga og öfugt.

Á Íslandi hefur formleg stefnumótun um aðlögun að loftslagsbreytingum á vegum stjórnvalda verið takmörkuð, en einstaka fyrirtæki og stofnanir hafa þó mótað sér stefnu. Sem dæmi má nefna Landsvirkjun og Vegagerðina. Þá hafa sveitarfélög, svo sem Reykjavíkurborg, mótað sér loftslagsstefnu þar sem meðal annars er fjallað um aðlögun að loftslagsbreytingum.

Samfélagslegir innviðir og atvinnuvegir

Þær takmörkuðu rannsóknir sem farið hafa fram á áhrifum loftslagsbreytinga á fráveitur og ofanvatnskerfi sýna þörf á umtalsverðri aðlögun. Loftslagsbreytingar kunna að hafa áhrif á eftirspurn, framboð og gæði vatns, en gera þarf umfangsmeiri rannsóknir og tryggja bætt eftirlit á þessu sviði.

Hækkuð sjávarstaða og aukin ákefð úrkomu gætu valdið meira álagi á fráveitukerfi. Í nágrannalöndum hafa viðmiðunarreglur fyrir hönnun fráveitukerfa verið endurskoðaðar vegna þessa. Hér á landi vantar gögn fyrir endurskoðun reglna og mælanet úrkomu í þéttbýli er ófullnægjandi.

Rannsóknir benda til þess að hlýnun geti minnkað eftirspurn eftir heitu vatni, e.t.v. um u.þ.b. 5% fyrir hverja gráðu. Eftirspurn eftir raforku mun aukast, m.a. vegna rafmagnsvæðingar samgangna en bæta þarf dreifinet og álagsstýra með verðlagningu.

Í orkugeiranum er veruleg aðlögunarþörf til að mæta aukningu í nýtanlegu vatnsaflí. Rannsóknir benda til að á tímabilinu 2010–2050 muni nýtanlegt vatnsafl aukast um 27–84% í einstaka virkjuðum jökulám. Í heildina, fyrir núverandi orkukerfi, er aukningin um 20%, en án endurhönnunar mun kerfið einungis geta nýtt 38% af aukningunni.

Líklegt er að loftslagsbreytingar hafi áhrif á uppbyggingu og viðhald vegakerfisins sem og þjónustuþörf,

t.d. minni þörf á snjómokstri en aukinni þörf á hálkuvörnum. Verði veður rýsjóttara þurfa vegir að standast slíkt álag.

Siglingar á norðurslóðum eru líklegar til að aukast en óvissa er um áhættu sem og ávinning þeirra fyrir Ísland.

Hlýnun síðustu áratuga hefur haft umtalsverð áhrif á ræktun jarðargróða á Íslandi. Að stórum hluta eru þetta jákvæð áhrif, en þó hafa einnig nokkur neikvæð áhrif komið í ljós, eins og áður hefur verið minnst á. Þannig hefur álag af sníkjudýrum á gróður aukist og einnig urðu þurrkavandamál í kornrækt á sendnum jarðvegi á ákveðnum stöðum hérlendis á síðasta áratug. Aukinni framleiðni úthaga og þurrkum gæti svo fylgt aukin hætta á gróðureldum. Einnig er líklegt er að framleiðsla ýmissa fóður- og fæduplantna aukist með hlýnandi loftslagi.

Íslenskur sjávarútvegur hefur áður brugðist skjótt við breytingum í umhverfisaðstæðum og ætti því að ráða við hægfare breytingar lífríkis samfara loftslagsbreytingum. Áhrif súrnunar sjávar á lífríki hafsins kunna að koma fyrr fram á íslensku hafsvæði en annars staðar. Líklegt er að nýtanlegar auðlindir sjávar muni betur standa af sér áhrif loftslagsbreytinga ef álagsþáttum tengdum fiskveiðum, raski á búsvæðum og mengun verður haldið í lágmarki.

Fiskeldi er vaxandi atvinnugrein, en bæði súrnun og hlýnun geta haft áhrif á framleiðslu greinarinnar. Einnig eru óbein markaðstengd áhrif loftslagsbreytinga hugsanleg, bæði á fóður- og afurðaverð.

Í heildina benda rannsóknir á efnahagslegum og samfélagslegum áhrifum loftslagsbreytinga á ferðamennsku til jákvæðra efnahagslegra áhrifa í kaldari löndum, a.m.k. til skamms tíma, en fáar slíkar rannsóknir er að finna sérstaklega fyrir Ísland.

Á alþjóðavísu hefur verið nokkuð fjallað um tryggingar sem leið til að stýra áhættu vegna loftslagsbreytinga. Viðlagatrygging Íslands veitir váttryggingavernd gegn náttúruhamförum, m.a. áhættuþáttum sem loftslagsbreytingar geta haft áhrif á, svo sem ofanflóð og vatnsflóð. Almenn váttryggingarfélag bjóða tryggingar gegn foktjóni og geta veitt viðskiptavinum mikilvæga ráðgjöf um mögulega áhættu á eignatjóni vegna storma og úrkomu. Lagaumhverfi og regluverk skýrir ekki nægilega vel ábyrgð ólíkra aðila sem skapar hættu á að almannafé sé notað til að greiða

fyrir áhættu vegna vanhannaðra eða illa staðsettra mannvirkja.

Líklegt er að loftslagsbreytingar hafi ýmsan kostnað í för með sér fyrir íslenskt þjóðfélag, bæði vegna mótvægisáðgerða og til að standa straum af aðlögun. Þá getur komið til þess að kaupa þurfi losunarheimildir náist ekki markmið um samdrátt í losun. Alþjóðasamfélagið gerir orðið kröfur til iðnríkja um fjármögnun aðgerða til þess að stemma stigu við loftslagsbreytingum eða aðlagast þeim, m.a. með framlögum í *Græna loftslagssjóðinn*. Talið er að um 26 milljónir manna þurfi árlega að flytja vegna umhverfisbreytinga, s.s. flóða, þurrka og annarra náttúruhamfara. Loftslagsbreytingar geta því leitt til búferlaflutninga frá þeim svæðum verst verða úti, til svæða sem standa betur.

Heimsmarkmið Sameinuðu þjóðanna um sjálfbæra þróun tengjast loftslagsbreytingum beint og óbeint, en álag vegna loftslagsbreytinga gerir þjóðum erfiðara fyrir að ná þessum markmiðum. Stefnumótun í þessum málaflokki þarf því að taka tillit til áhrifa loftslagsbreytinga.

Náttúruvá, áhættustýring og heilsa

Nokkur reynsla og þekking er hér á landi í áhættumati og viðbrögðum við náttúruvá. Loftslagsbreytingar geta aukið áhættu fyrir sumar tegundir náttúruvár. Eðlilegast er að viðbrögð við aukinni áhættu verði skipulögð í tengslum við áhættustýringu á núverandi vá og aðgerðir til að mæta henni efldar. Meðal áhættuþátta sem huga þarf að eru tíðni og umfang jökulhlaupa og flóða frá jaðarlönnum, ofanflóð – sérstaklega vegna bráðnunar sífrera í fjallendi – eldgosahætta vegna aukinnar kvikuframleiðslu undir landinu, gróðureldar og sjávarflóð. Reynslan sýnir að hægt er að ná miklum árangri við að draga úr áhættu. Skipuleg áhættustýring, með formlegu áhættumati, viðbragðsáætlunum og aðgerðum til þess að draga úr tjóni, er vænlegasta leiðin til þess að mæta breytingum á áhættu.

Mikilvægt er að farið sé með gát þegar byggð er skipulögð á lagsvæðum og tekið sé tillit til aukinnar flóðahættu. Á áhættusvæðum ætti að forðast að setja í kjallara spennistöðvar, viðkvæm kerfi eða geymslur sem tryggja eiga örugga varðveislu verðmæta.

Loftslagsbreytingar munu hafa í för með sér

Mynd 1.8 Í september 2012 féll skriða úr 750 m hæð í Móafellshyrnu í Fljótum. Myndin sýnir klump af freraurð samlímða með ís sem kom niður með skriðunni. Með bráðnun sifrera í fjallendi eykst hætta á skriðuföllum. (Ljósmynd: Jón K. Helgason.)



breytingar á aftakaveðrum. Líklegt er að úrkomuákefð aukist á öldinni og því munu rigninga- og leysingafloð taka breytingum. Erfitt er að segja fyrir um hvernig tíðni hvassviðra á Íslandi muni breytast á öldinni, en árlegur fjöldi hvassviðrisdaga á landinu sýnir verulegar sveiflur milli áratuga.

Hækkandi sjávarborð eykur óhjákvæmilega hættuna á sjávarflóðum. Langtímamælingum á sjávarstöðu við Ísland er ábótavant.

Búast má við að smitleiðir breytist, m.a. vegna breytinga á tegundasamsetningu skordýra, og líklegt er að aukið magn frjókorna og myglugróa geti haft neikvæð áhrif á heilsufar.

Miðað við núverandi styrk heilbrigðiskerfisins bendir ekkert til annars en að það myndi ráða við álag vegna loftslagsbreytinga. Viðbrögð við heilsufarsáhrifum loftslagsbreytinga kunna að fela í sér tækifæri í bættri lýðheilsu til framtíðar.

Ábendingar um aðgerðir og skort á þekkingu

Í síðustu skýrslu Vísindanefndar árið 2008 var bent á að umtalsverðar afleiðingar loftslagsbreytinga á Íslandi verði ekki umflúnar. Þetta yki þörf á vöktun og rannsóknnum á ýmsum þáttum náttúrufars. Ljúka þyrfti öflun grunnupplýsinga um náttúrufar landsins og efla langtímavöktun á umhverfisþáttum og lífríki hafs og

lands. Þá var bent á að vöktun er langtímaverkefni sem krefst stöðugra fjárveitinga og hentar ekki til fjármögnunar úr samkeppnissjóðum.

Síðan skýrslan kom út hefur dregið úr almennri vöktun á náttúrufari landsins, og gildir það jafnt um veðurathuganir sem og vöktun á lífríki lands og sjávar. Vísindanefnd telur mikilvægt benda á að skipuleg viðbrögð við loftslagsbreytingum þarf að byggja á haldbærum rannsóknnum og þekkingaröflun.

Margvíslegar rannsóknir hafa þegar verið gerðar sem gefa vísbendingar um áhrif loftslagsbreytinga á ýmsa náttúruþætti. Engin áætlun er þó til um vöktun á lykilorðum íslenskrar náttúru. Sérstaklega vantar rannsóknir þar sem tengsl við loftslagsbreytingar eru viðfangsefni, en ekki er reynt að skýra út orsakasamhengi breytinga á umhverfisþáttum og náttúrufari eftir á. Bæta þarf vöktun sérstaklega á þeim þáttum sem líklegastir eru taldir til að breytast.

Þó að áhrif hlýnunar á jarðargróða séu veruleg hafa áhrif hlýnunar á búsmala og á jarðrækt lítið verið rannsökuð. Sérlega vantar rannsóknir á áhættuþáttum breyttra búháttá, svo sem aukinnar korn- og skógræktar.

Skýringar á orsakasamhengi umhverfisþátta og breytinga í vistkerfi sjávar kalla á mun ítarlegri rannsóknir en til þessa. Mikilvægt er á næstu árum og áratugum að vakta og skrá hvernig vistkerfi Íslandsmiða bregst við umhverfisbreytingum, bæði súrnun sem og sveiflum í hita. Grunnþekking á súrnun úthafsins við

Ísland er nokkuð góð. En aðstæður á landgrunni og strandsvæðum eru fjölbreytilegar. Til að verjast efnahagslega hastarlegum áhrifum súrnunar sjávar er ráðlegt að efla strax rannsóknir með það að markmiði að bera kennsl á hafsvæði, vistkerfi og tegundir í lífríkinu þar sem líklegt er að áhrif hennar komi fram.

Bráðnun jökla mun hafa áhrif á landris og sjávarstöðu. Mikilvægt er að massatap íslenskra jökla verði endurmetið og áhrif þess á þyngdarsviðið reiknað í sjávarstöðulíkani. Leggja þarf mat á líklegar breytingar á sjávarflóðahættu.

Efnahagsleg og samfélagsleg áhrif loftslagsbreytinga á hina ýmsu geira íslensks samfélags hafa lítt verið rannsökuð, svo sem möguleg áhrif á sjávarútveg, landbúnað og aðra landnýtingu, ferðaþjónustu og tryggingargeirann. Mikilvægt er að auka rannsóknir á þessum þáttum. Sérstaklega er mikilvægt að leggja áherslu á þverfaglegar rannsóknir á þessu sviði hérlandis, þar sem samspil mismunandi þátta er oftast ekki mikilvægara en hin beinu áhrif loftslagsbreytinga á hvern þátt ein og sér.

Auk þess að bæta rannsóknir á áhrifum loftslagsbreytinga er óhjákvæmilegt að lögð verði meiri áhersla á aðlögun að loftslagsbreytingum.

Bæta þarf mat á líklegum áhrifum, þörf á aðlögun og einnig meta hvaða aðgerðir séu líklegastar til að skila árangri.

Vinna þarf formlega aðlögunaráætlun fyrir Ísland eins og gert hefur verið í nágrennalöndum og beita þarf áhættustýringu, áhættumati, viðbragðsáætlunum og aðgerðum þar sem það á við.

Að auki þarf að ráðast í heildstæða stefnumótun í aðlögun að loftslagsbreytingum þar sem horft er á aðlögun í samhengi við mótvægisáðgerðir til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda.

Aðgreina þarf innri- og ytri breytipætti, annars vegar þær breytingar sem verða á íslenskri náttúru og afleiðingar þeirra en hins vegar þær breytingar sem leggjast munu af þunga á þjóðfélagið utanfrá vegna loftslagsbreytinga annars staðar. Sömuleiðis er mikilvægt að tekið sé tillit til breytinga á þjóðfélagi og atvinnuvegum í áhættumati.

Meta þarf áhrif loftslagsbreytinga á ólíka flokka náttúruvár, s.s. ofanflóða gróðurelda, flóð vegna aftakaúrkomu og hækkandi sjávarstöðu. Mikilvægt er að bæta mælanet úrkomu í þéttbýli og endurskoða viðmiðunarreglur fyrir hönnun fráveitukerfa.

Breyta þarf fyrirkomulagi mælinga á sjávarstöðu-breytingum og tryggja að mæliraðir séu nýtilegar til þess að fylgjast með langtímabreytingum. Æskilegast er að langtímamælingar á sjávarstöðu væru gerðar á nokkrum stöðum á landinu og samfelldar landhæðar-breytingar mældar á sama stað með GPS.

Mikilvægt er að við skipulag á lágsvæðum sé tekið tillit til líklegar hækkunar sjávarborðs og tryggja þarf eftirfylgni með reglum og að ábyrgð ólíkra aðila sé vel skilgreind.

Ráðast þarf í heildstæða greiningu á sambandi mögulegra mótvægisáðgerða og aðlögunar á Íslandi, m.a. með tilliti til bindingarmöguleika með endurheimt gróðurþekju og votlendis.