

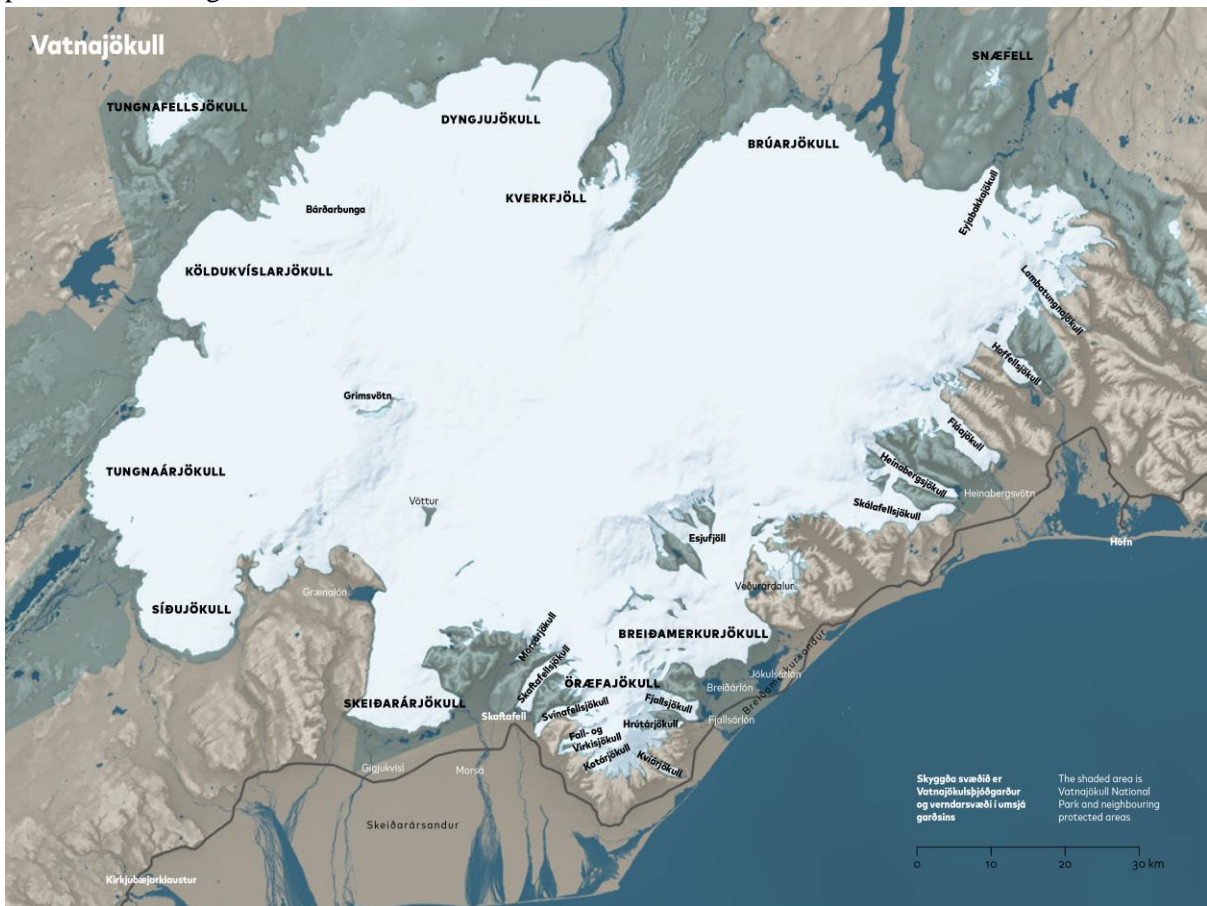
Loftslag og leiðsögn

Efnisyfirlit

1. Inngangur	1
2. Loftlagsbreytingar - Hvað og af hverju?	2
2.1 Gróðurhúsalofttegundir	5
3. Birtingamyndir og áhrif loftlagsbreytinga	7
3.1 Loftslag og veðurfar	8
3.2 Jöklar	9
3.2.1 Jökulís	10
3.2.2. Landmótun jökla og jöklabreytingar	14
3.2.3 Sporðamælingar	28
3.3 Landris	30
3.4 Hafið	32
3.4.1 Súrnun sjávar	32
3.4.2 Hlýnun sjávar	33
3.4.3 Hækkun sjávarborðs	34
3.5 Gróðurfar	35
3.6 Dýralíf	37
3.6.1 Sjávardýr	37
3.6.2 Fuglar	38
3.6.2 Landdýr	39
3.7 Mannlíf	39
3.7.1. Hlýnun og samfélagsleg áhrif	39
3.7.2 Samfélagsleg áhrif vegna bráðnunar jökla	40
4. Mögulegar mótvægisáðgerðir	41
4.1 Stjórnvöld og mótvægisáðgerðir	41
4.2 Mótvægisáðgerðir fyrirtækja og einstaklinga	42
4.3 Kolefnisspor og kolefnisjöfnun	42
4.3.1 Samgöngur	43
4.3.2 Orkuframleiðsla og orkunotkun	44
4.3.3 Skógrækt, landgræðsla og endurheimt votlendis	44
4.3.4 Neysla	45
4.3.5 Plast	45
4.3.6 Matarsóun	45
4.3.7 Úrgangur	46
5. Ferðamennska og loftslagsbreytingar	47
6. Heimildir og frekari fróðleikur	48
6.1 Bækur og yfirlitsverk	48
6.2 Vísindagreinar, skýrslur og aðrar heimildir	49

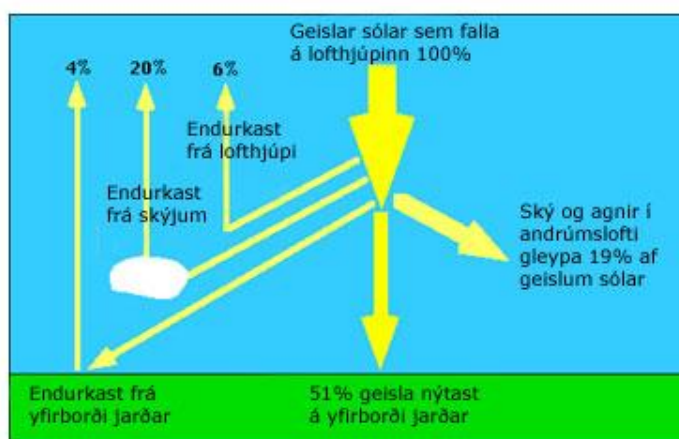
1. Inngangur

Loftslag og leiðsögn er samstarfsverkefni Nýheima þekkingarseturs og Vatnajökulsþjóðgarðs. Verkefnið er liður í stærra verkefni þjóðgarðsins og Veðurstofu Íslands, *Hörfandi jöklar*, sem unnið er í tengslum við sóknaráætlun Íslands í loftslagsmálum. Markmið þess verkefnis er að auka vitund fólks um loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á jökla Íslands og annars staðar á jörðinni. *Loftslag og leiðsögn* felur í sér samantekt og miðlun fræðsluefnis um loftslagsbreytingar og afleiðingar þeirra. Tilgangur verkefnisins er að auka aðgengi að heildstæðum og áreiðanlegum upplýsingum sem nýst geta ferðafjónustuaðilum sem starfa við leiðsögn og móttöku ferðafólks í nágrenni Vatnajökuls. Leiðsögufólk nýtir stórbrotna náttúru landsins sem vettvang til fræðslu og miðlunar upplýsinga og hefur því einstakt tækifæri til þess að stuðla að aukinni þekkingu um loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á náttúru og mannlíf.



2. Loftlagsbreytingar - Hvað og af hverju?

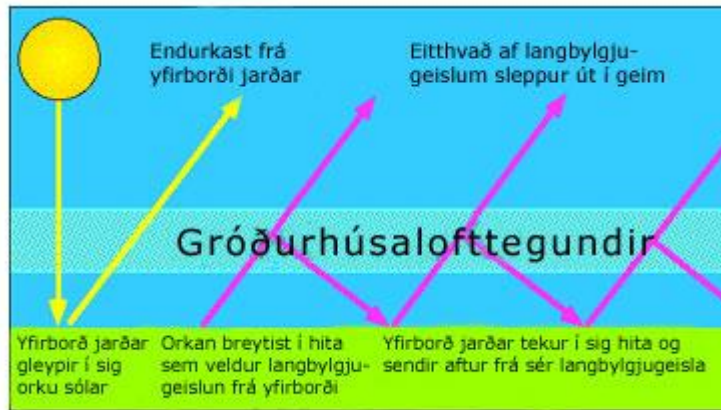
Frá upphafi iðnbyltingarinnar, seint á 18. öld, hefur mannkynið haft veruleg áhrif á loftslag jarðar, einkum með losun gróðurhúsalofttegunda út í andrúmsloftið. Notkun jarðefnaeldsneytis hefur margfaldast síðan þá, sem hefur leitt af sér mikla losun koltvísýrings (CO_2) sem áður hafði varðveist í jarðlögum í tugi og hundruð milljónir ára í formi kola og olíu. Losun metans og nituroxíðs hefur jafnframt aukist vegna landbúnaðar og annarrar starfsemi og þá hefur losun einnig hafist á nýjum manngerðum gróðurhúsalofttegundum. Aukning í ákveðnum lofttegundum breytir varmageislun frá jörðinni þannig að neðri hluti lofthjúpsins og yfirborð jarðar hlýna.



Mynd 1. Stór hluti af sólgeislun endurkastast en um 51% ná til yfirborðs jarðar og breytast í varma. Þegar sólargeislar falla á lofthjúp jarðar endurkastast 26% þeirra strax aftur út í geiminn vegna frácasts frá skýjum og ýmsum ögnum í lofthjúpnnum. Skýin og agnir í andrúmsloftinu gleypa svo í sig um 19% þeirra geisla sem berast frá sólu. Heimild: <http://visindavefur.is/svar.php?id=4686>.

Eðli gróðurhúsalofttegunda og áhrif þeirra hefur verið þekkt í áratugi. Lofthjúpur jarðar ver líf á jörðinni fyrir útfjólubláum geislum sólarinnar og viðheldur jöfnu hitastigi. Sólarorkan (með stutta bylgjulengd) fer gegnum lofthjúpið og breytist þar í varmageislun sem endurkastast frá jörðinni (með langa bylgjulengd) og á því ekki greiða leið út úr lofthjúpnnum. Geislun frá jörðinni rekst á gassameindir í loftinu sem senda þessa geislun tilbaka til yfirborðs jarðar. Þannig er lofthjúpurinn eins og gildra sem hleypir sólarorkunni inn, en ekki út.

Gróðurhúsalofttegundir í andrúmsloftinu taka í sig eða endurvarpa miklum hluta varmageislunarinnar frá jörðinni og draga þannig úr varmatapinu frá henni. Vegna þessa er meðalhiti jarðar um 33°C hærri en hann væri án lofthjúps, eða 15°C í stað -18°C . Aukin losun gróðurhúsalofttegunda hefur raskað því efnajafnvægi sem ríkt hefur í andrúmsloftinu og styrkur koltvísýrings er nú meiri þar en í að minnsta kosti 650.000 ár, eða svo lengi sem vísindamenn geta greint efnasamsetningu andrúmsloftsins, t.d. með rannsóknum á ískjörnum.



Mynd 2. Geislar sólar sem ná yfirborði jarðar eru með stuttri bylgjulengd. Orka þeirra vermir jörðina og jörðin fer að senda frá sér sem varmageislun með lengri bylgjulengd en upphaflega ljósið. Aðeins brot af síðarnefndu geislunum berst út fyrir lofthjúpin; meirihluti þeirra er gleypur af gróðurhúsalofttegundum. Heimild: <http://visindavefur.is/svar.php?id=468>

Fimmta yfirlitsskýrsla Milliríkjanevndar Sameinuðu þjóðanna um loftslagsmál (IPCC) var gefin út árið 2014. Skýrslur IPCC eru byggðar á vinnu þúsunda vísindamanna og eru lang viðamestu vísindalegu samantektir sem gerðar eru um loftslagsbreytingar. Niðurstöður síðustu skýrslu frá 2014 styrktu enn frekar niðurstöðu 4. skýrslunar frá 2007, sem markaði tímamót í umræðunni um loftslagsmál. Síðan þá hefur þorri vísindamanna talað afdráttarlaust um að hlýnun jarðar frá iðnbyltingu sé staðreynd og að hún sé að mestu leyti tilkomin vegna athafna manna.

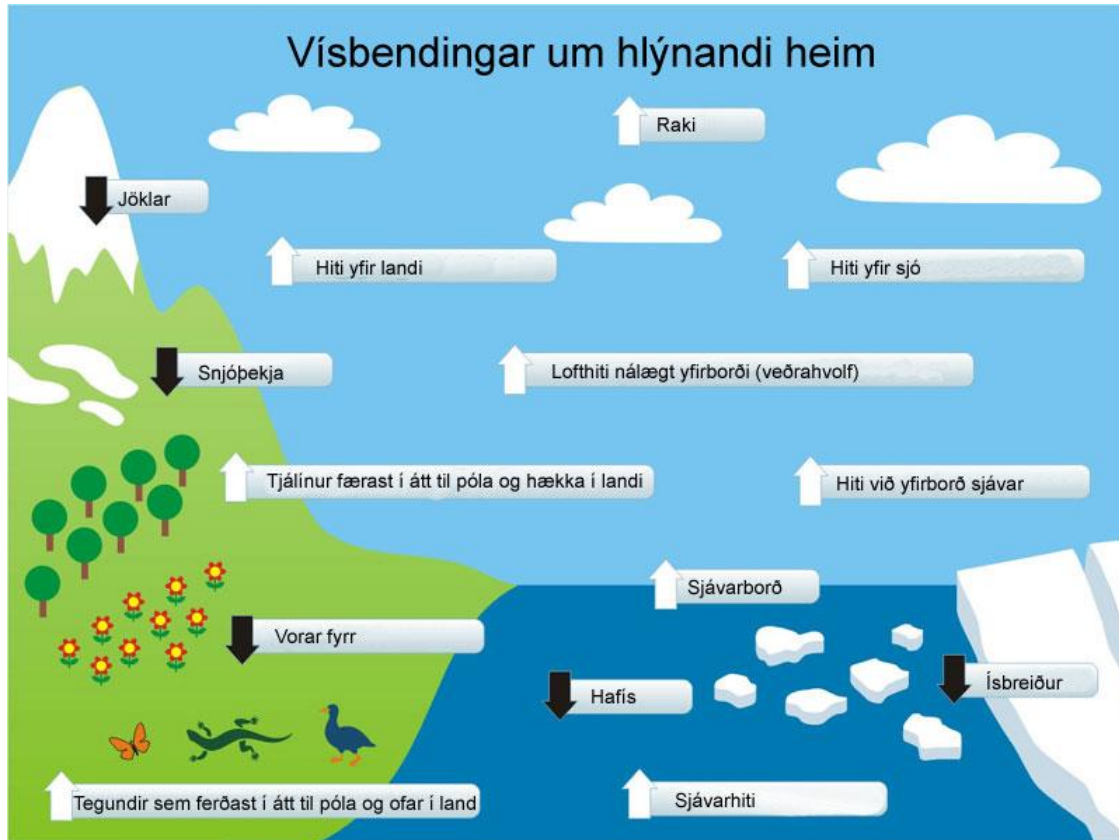
Loftslagsbreytingar eru vel þekktar í jarðsögunni enda hafa skipst á köld og hlý skeið í gegnum tíðina. Við lifum á ísöld (sem hófst fyrir um 2,7 milljónum ára) þar sem skiptast á hlýskeið og kuldaskið. Loftslag sveiflast vegna þess að styrkur geislunar sem jörðin fær á braut sinni um sólu breytist og er þrennt sem veldur því:

1. Á hundrað þúsund árum breytist braut jarðar um sólu (sporbaugur) frá því að vera nánast hringlaga í að vera sporöskjulaga. Þegar brautin er nær hringlaga er jörðin allt árið jafnlangt frá sólinni og styrkur sólgeislunar alltaf jafn, en þegar brautin er sporöskjulaga er fjarlægðin mismunandi eftir árstíðum.
2. Jörðin hallast einnig mismikið að sólinni. Um 41.000 ár líða milli þess að snúningsás jarðar (möndulásinn) hallast mest og minnst.
3. Jörðin vaggar eins og skopparakringla og tekur það 22.000 ár fyrir snúningsásinn að fara einn hring.

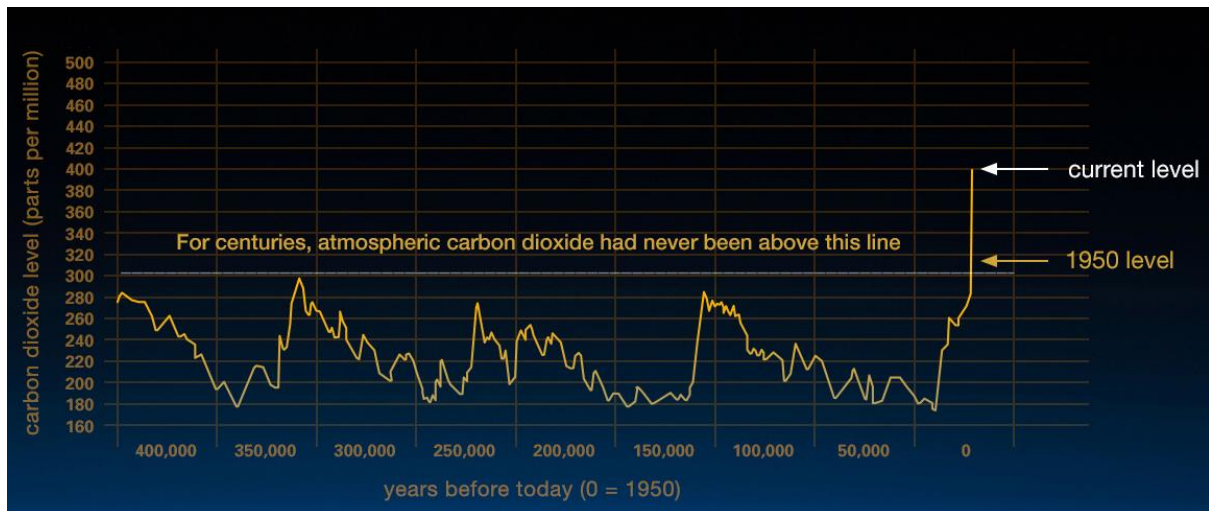
Hafa þarf í huga að þó að sólgeislun ráði mestu um hitastig á jörðinni þá er loftslag breytilegt frá einu ári og áratug til annars, vegna náttúrulegra sveiflna, straumar sem bera varma í hafi, lofti og ís eru stöðugt á iði. Sólgeislun á norðurhveli jarðar jókst stöðugt frá því fyrir átján þúsund árum og varð mest fyrir níu þúsund árum. Hlýnunin batt enda á síðasta kuldaskiðið ísaldar (kallað Weichselian) fyrir um tíu þúsund árum og markaði upphaf núverandi hlýskeiðs, sem kallast Nútími. Fyrir sjö til fimm þúsund árum var mun hlýrra á norðurhveli en nú er en þá fór minni sólgeislun að segja til sín vegna breytinga á lögun sporbaugs og möndulhalla jarðar. Fyrir þrjú þúsund árum var orðið svo kalt að jöklar tóku að myndast á ný á Íslandi.

Vísbendingar um kulda- og hlýskeið ísaldar er að finna í íslögum Grænlandsjökuls og á Suðurskautslandinu, ásamt setlögum á sjávarbotni og í stöðuvötnum víðsvegar á jörðinni. Þótt hitastig á fyrri hlýskeiðum hafi náð svipuðum gildum og mælast í dag, þá er hraði breytinganna, einkum frá iðnbyltingu, sérstakur áhyggjuvaldur nú. Vísindamenn telja að hlýnunin frá iðnbyltingu hafi verið allt að 10 sinnum hraðari en að jafnaði á fyrri hlýskeiðum og hraði hlýnunarinnar virðist enn fara vaxandi.

Á síðustu 100 árum nemur hlýnun loftslags að meðaltali um $0,8^{\circ}\text{C}$ við yfirborð jarðar, en er mun meiri á norðlægum slóðum. Frá því að samfelldar mælingar hófust á Íslandi fyrir miðbik 19. aldar hefur hlýnað verulega á landinu og nemur hlýnunin um $0,8^{\circ}\text{C}$ á öld. Síðustu áratugi hefur hlýnun verið mjög áköf og frá 1980–2015 nam hún $0,5^{\circ}\text{C}$ á áratug, mest vestan og norðvestan til á landinu. Innan við ein gráða á Celcius virðist ekki há tala, en þar sem um vik frá meðalárshita er að ræða eru áhrifin víðtæk og birtast m.a. í bráðnun hafíss og jökla, hækkun sjávarborðs, lengri vaxtartíma gróðurs og breytingum á farhátum dýra. Árið 2016 var heitasta ár síðan mælingar hófust og árið 2017 hið næstheitasta.



Mynd 3. Það má sjá ýmis merki þess að loftslag fer hlýnandi. Heimild: <http://visindavefur.is/svar.php?id=62047>



Mynd 4. Magn koltvíoxíðs í andrúmsloftinu, sem er mælt í Vostok ískjarnanum á Suðurskautslandinu og eftir árið 1950 með beinum mælingum á Hawaii (Mauna Loa mæliröðin), sýnir að mikil aukning hefur átt sér stað eftir iðnbyltingu. Heimild: <https://climate.nasa.gov/evidence/>

Ástæða þessarar hröðu hlýnunar er fyrst og fremst aukinn styrkur koltvísýrings (CO_2) og fleiri gróðurhúsalofttegunda í andrúmsloftinu. Aukningin er af mannavöldum og stafar einkum af bruna á kolum og olíu til raforkuframleiðslu, í samgöngum og iðnaði, minni bindingu koltvísýrings vegna gróðureyðingar og losun metans í landbúnaði. Af þessum umfram koltvísýringi er áætlað að 40% séu enn bundin í andrúmsloftinu, um 30% hafi sjórinn tekið upp en 30% verið bundið í jarðlög eða plöntur. Ljóst er að aukin losun gróðurhúsalofttegunda raskar því jafnvægi sem áður var til staðar. Meðan losunin er ekki takmörkuð með einhverjum hætti, eða binding aukin, mun magn þessara lofttegunda í lofthjúpnnum halda áfram að aukast og hitastig hækkar að sama skapi. IPCC spáir hækkun á hitastigi á bilinu $0,3\text{--}4,8^\circ\text{C}$ næstu hundrað árin, allt eftir magni losunar gróðurhúsalofttegunda og mótvægisáðgerðum til bindingar þeirra.

Heimildir:

https://www.umhverfisraduneyti.is/media/PDF_skrar/visindanefndloftslagsbreytingar.pdf

<https://www.stjornufrædi.is/solkerfid/jordin/lofthjupur-jardar/>

<https://www.ust.is/einstaklingar/loftslagsbreytingar/>

https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf

<https://climate.nasa.gov/evidence/>

Sigríður P. Friðriksdóttir: Þróun lífs og jarðar. Flensborg 1999. https://www.stjornarradid.is/media/umhverfisraduneyti-media/media/PDF_skrar/loftslagsbreytingar.pdf

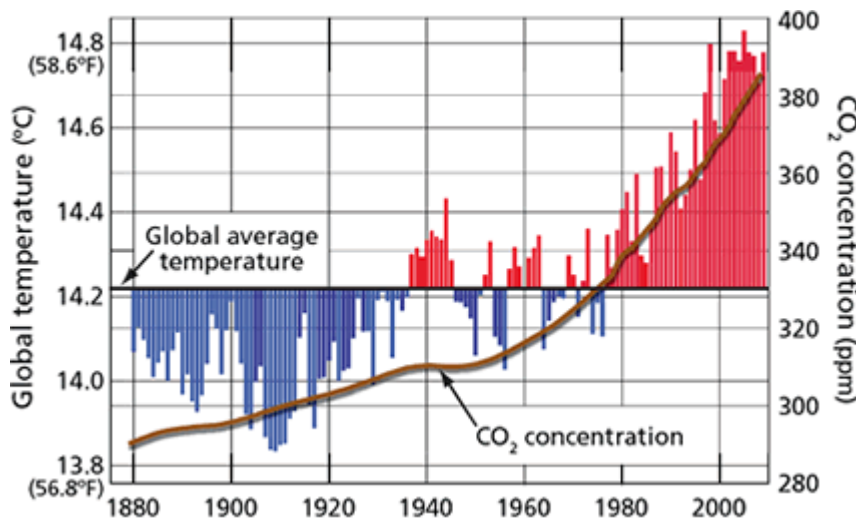
Af hverju eru jöklar og ís á jörðinni? Spurningar af vísindavefnum um jökla og loftslagsmál. Helgi Björnsson, Þórarinn Már Baldursson myndskreytti. Mál og Menning, Reykjavík 2015.

<https://www.visindavefur.is/svar.php?id=13190>

2.1 Gróðurhúsalofttegundir

Um 78% lofthjúps jarðar er nitur (N_2) og um 21% súrefni (O_2). Gróðurhúsalofttegundir eru því samtals rétt um 1%. Meðal þeirra helstu eru koltvísýringur (CO_2), metan (CH_4), Óson (O_3), glaðloft (N_2O), brennisteinshexaflúoríð (SF_6), vatnsgufa (H_2O) og ýmis halógenkolefni. Meðal tilbúinna gróðurhúsalofttegunda (sem eru manngerðar, þ.e. myndast ekki af náttúrulegum orsökum) eru s.n. klór-flúor-kol-efni (CFC), vetnis-flúor-kolefni (HFC) og fleiri efnasambönd sem innihalda kolefni og flúor.

- **Koltvísýringur (CO₂)** er ein áhrifamesta gróðurhúsalofttegundin. Koltvísýringur er mikilvæg sameind fyrir líf á jörðinni enda notað af plöntum til ljóstillífunar. Við ljóstillífun klofnar koltvísýringssameindin í kolefni (C) og súrefni (O₂). Hið fyrrnefnda nota plöntur til byggingar á lífrænum kolvetnissamböndum (sykrum) en súrefnið losnar aftur út í andrúmsloftið. Þegar plöntur eru étnar af grasbítum berast kolvetnin yfir í dýraríkið og verða bygggingaerfni og undirstöðuorka í fæðukeðjum þess. Stór hluti kolefnisins sem bundinn er í ljóstillífun losnar aftur út í andrúmsloftið sem koltvísýringur við öndun dýra og plantna.
- **Metan (CH₄)** myndast í maga jörturdýra en verður einnig til þegar lífrænt efni rotnar við loftfirrtar aðstæður svo sem í votlendi, ruslahaugum og við hrisgrjónarækt. Einnig losnar metan við ófullkominn bruna jarðefnaeldsneytis eða leka í vinnslu þess.
- **Glaðloft (N₂O)** myndast í litlu magni við bruna eldsneytis, í iðnað og landbúnað.
- **Óson (O₃)** myndast þegar súrefnissameindir renna saman fyrir tilstilli orkuríkra sólargeisla hátt í lofthjúpunum. Mikilvægur eiginleiki þess er að það dregur í sig útfjólubláa geisla sólarinnar (UV) og verndar líf á jörðinni fyrir skaðlegum áhrifum þeirra. Ýmsar tilbúnar lofttegundir hafa neikvæð áhrif á ósonlagið og eyða því.
- **Brennisteinshexaflúoríð (SF₆)** og halógeneruð vetniskolefni og perflúorkolefni eru manngerð efni sem innihalda halogen (bróm, klór og/eða flúor) og hafa meðal annars verið notuð við kæli- og slökkvikerfi og valda eyðingu ósonlagsins.
- **Vatnsgufa (H₂O)** er algengust gróðurhúsalofttegunda en magn hennar er mjög misjafnt í lofthjúpunum bæði í tíma og rúmi. Maðurinn hefur ekki bein áhrif á magn hennar en með hækkandi hitastigi eykst uppgufun.



Mynd 5. Meðalhitastig og styrkur koltvíoxíðs í andrúmslofti. Rauðu súlurnar tákna hitastig hærra en meðaltal árána 1901–2000 og bláu súlurnar hitastig fyrir neðan meðaltal sama tímabils. Koltvíoxíð er mælt í ppm (parts per million eða miljónustu hlutar). Heimild: NOAA/NCDC.

Heimildir:
<https://www.ust.is/einstaklingar/loftslagsbreytingar/grodurhusaloftegundir/>
<https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
<http://visindavefur.is/svar.php?id=4440>

3. Birtingamyndir og áhrif loftlagsbreytinga

Afleiðingar loftslagsbreytinga eru margvísleg og má nefna: bráðnun jökla, hækkun á yfirborði sjávar, röskun á vistkerfum og öfgar í veðurfari. Breytingar á hitastigi og ofankomu hafa afdrifaríkar afleiðingar fyrir landbúnað, ferskvatnsbirgðir jarðar, aðrar náttúruauðlindir og haft keðjuverkandi áhrif til aukningar hitastigs. Afleiðingar loftslagsbreytinga eru meðal annars:

- Stækkun og fjölgun lóna við jökuljaðra.
- Aukinn óstöðugleiki yfirborðsjarðlaga á svæðum þar sem sífreri er í jörðu og aukin tíðni grjóthruns í fjalllendi.
- Losun metans úr freðmýrum sem þiðna vegna hlýnunar
- Breytingar í lífríki á hafíssvæðum sem hafa áhrif á dýr ofarlega í fæðukeðjunni.
- Aukið afrennsli í jökulám og dragám þar sem snjóbráðar gætir.
- Það vorar fyrr sem hefur m.a. áhrif á laufgun trjáa, ferðir farfugla og varptíma auk þess sem vorflóð eru fyrr á ferðinni.
- Gervihnattagögn sýna að víða hefur hlýnun síðustu áratuga valdið því að nú grænkar fyrr á vorin á norðurlóðum, gróður tími lengist og uppskera eykst að sama skapi.
- Breytingar hafa orðið á útbreiðslu ýmissa dýra og plöntutegunda, þannig að þær má nú finna nær heimskautasvæðum eða hærra í fjalllendi.
- Stöðu- og straumvötn hitna, sem hefur áhrif á vatnsgæði og lífríki vatnanna, t.d. fækkar bleikju í ám víða á Íslandi en bleikjan er hánorrænn fiskur.

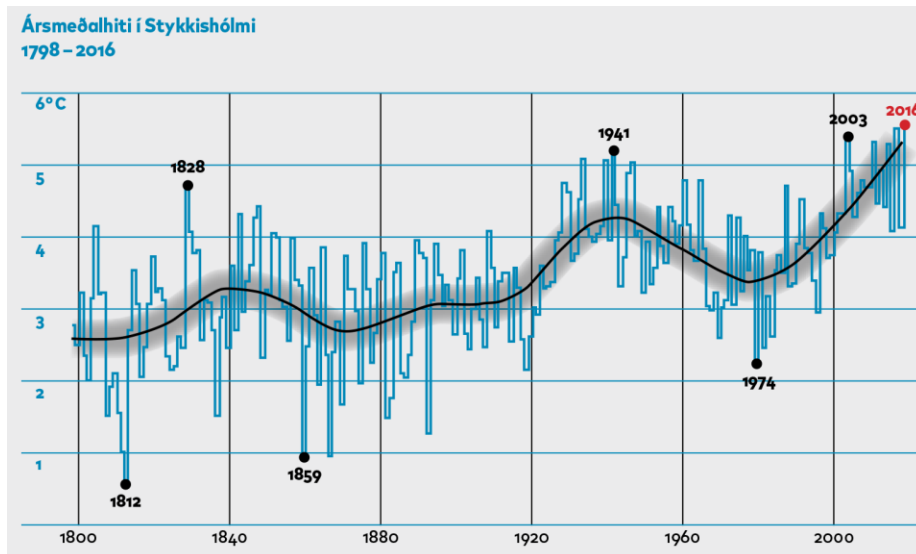
Þegar hafís og snjóhula minnka draga jarðvegur og opin hafsvæði í sig stóran hluta þess varma sem hefði annars endurkastast frá snævi- eða íspakinni jörðinni. Endurkastsstuðull snævar er hár, eða 80–90%, miðað við 10–30% endurkast frá gróðri og jarðvegi. Um 98% af snjóhulu á jörðinni er að finna á norðurhveli jarðar og gegnir hún afar mikilvægu hlutverki í varmabúskap jarðar.

Þegar sjávarhiti hækkar og andrúmsloft hlýnar eykst uppgufun frá höfunum og þar með hlutfall vatnsgufu í andrúmsloftinu. Vatnsgufa er ein öflugasta gróðurhúsalofttegundin og því eykur þetta enn frekar á hlýnunina. Vísindamenn óttast að mikið magn af metangasi (sem er mjög öflug gróðurhúsalofttegund), sem nú liggur frosið í jörðu undir sífrera á stórum svæðum á norðurhveli jarðar, kunnir að streyma út í andrúmsloftið þegar sífrerinn tekur að bráðna vegna hlýnunar.

Fyrirsjáanlegt er að afleiðingar hlýnunar andrúmsloftsins koma misþungt niður á einstökum svæðum heims. Verstar verða afleiðingarnar fyrir fátækar þjóðir í vanþróuðum ríkjum. Þannig stafar íbúum eyja í Indlandshafi og Kyrrahafi og íbúum láglandra strandsvæða, svo sem Bangladesh, sérstök ógn af hækkun yfirborðs sjávar. Nú þegar hefur þurft að rýma íbúabyggðir á lágrestum eyjum í Kyrrahafi, t.d. hluta af eyjaklasanum sem kallast Solomon islands. Einnig munu þjóðir Afríku og Asíu verða fyrir uppskerubresti sem getur leitt til hungursneyðar og bráðnun jökla í hinum miklu fjallgördum heimsins mun draga úr framboði á drykkjarvatni fyrir hundruð milljóna manna sem búa við rætur þeirra. Tíðni tjóna á mannvirkjum mun fara vaxandi, vegna sjávarflóða og aukinnar tíðni fellibylja og ofsavæðra sem talin eru fylgja í kjölfar hlýnunar andrúmsloftsins. Þá kunna ýmis sníkjudýr og sjúkdómsberar að breiðast út og leggja undir sig ný svæði með hækkun lofthita.

3.1 Loftslag og veðurfar

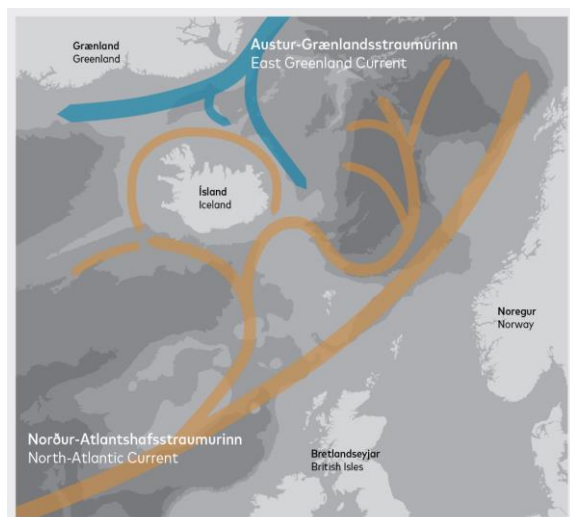
Loftslag er í raun meðaltal veðurs (hiti, úrkoma, vindur) yfir langan tíma (mánuði, ár eða þúsundir ára) á tilteknu landsvæði. Veður er síbreytilegt þótt hægt sé að spá fyrir um það nokkra daga fram í tímann. Loftslag breytist aftur á móti hægt og mæla þarf veður í marga áratugi til þess að geta sagt til um loftslagsbreytingar.



Mynd 6. Ársmeðalhiti í Stykkishólmi 1798–2016. Heimild: Gögn frá Veðurstofu Íslands. Endurgerð: Atli Hilmarsson fyrir Hrafnhildur Hannesdóttir og Snorri Baldursson, 2017.

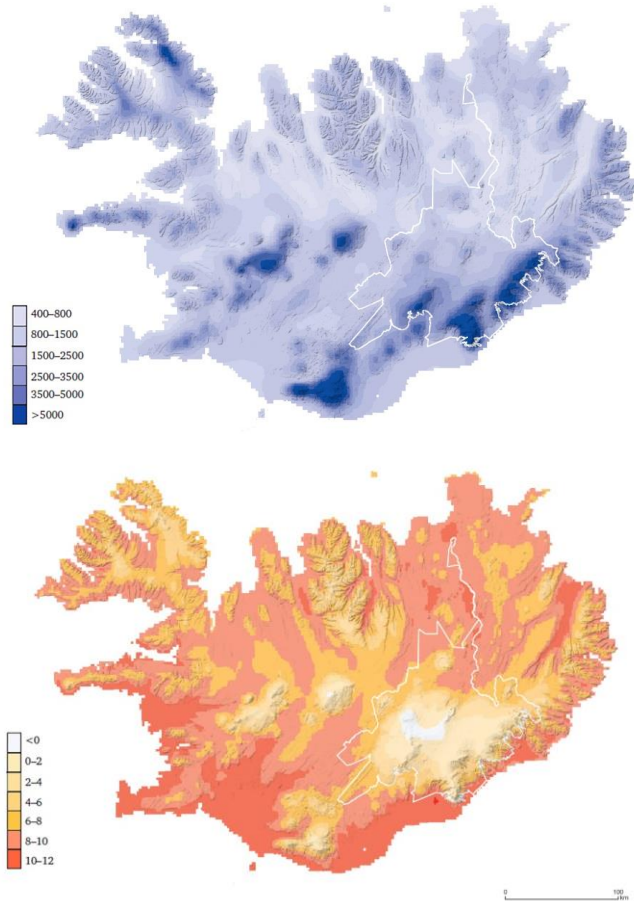
Ísland liggur í Norður-Atlantshafi, rétt sunnan við norðurheimskautsbaug. Landið er á mörkum tveggja loftslagsbelta, tempraða beltisins og heimskautasvæðanna og þar ríkir kaldtemprað úthafsloftslag. Hlýr hafstraumur úr suðri, Norður-Atlantshafsstraumurinn veldur því að loftslagið er milt miðað við hnattstöðu landsins. Ársmeðalhiti á láglandi á tímabilinu 1971–2000 var á bilinu 2–5 °C. Suðlægir vindar flytja með sér úrkomu og er meðalársúrkoman því almennt meiri um sunnanvert landið en norðanvert. Mesta mældu meðalársúrkoma er 4000–5000 mm (að hámarki 7000 mm) ofarlega á Vatnajökli og Mýrdalsjökli, en minnst úrkoma mælist norðan Vatnajökuls eða á bilinu 400–800 mm á ári.

Veðurfar á Íslandi, líkt og á öðrum norðlægum svæðum, hefur breyst á þann veg að nú fellur meiri rigning og minni snjór á láglandi en áður. Spár gera ráð fyrir að úrkoma aukist um 2–3% fyrir hverja gráðu sem hlýnar og líklegt er að ákefð úrkomu aukist og að dögum án úrkomu fækki. Hitastig hefur hækkað og meira að vetri (desember til mars) en sumarlagi (júní til september).



Mynd 7. Helstu sjávarstraumar í Norður-Atlantshafi. Endurgerð: Atli Hilmarsson fyrir Hrafnhildur Hannesdóttir og Snorri Baldursson, 2017

Mynd 8. Meðaltals ársúrcoma í mm (efri mynd) og meðalhitastig júlímánaðar í °C (neðri mynd) á Íslandi. Heimild: gögn frá Veðurstofu Íslands



Þær miklu öfgar í veðri vísvegar um heiminn á síðastliðnum árum og áratugum má rekja til loftslagsbreytinga. Öfgararnar birtast meðal annars í hitabylgjum og stormum en áhrifin geta verið margvísleg og mismunandi eftir landsvæðum. Sem dæmi má nefna að jafnvel þó heildarúrcoma hafi dregist saman á tilteknum svæðum hefur hækkað hitastig valdið því að úrhelli er orðið algengara og flóð tíðari. Auk þess eru þurrkar tíðari á mörgum svæðum og þeir vara lengur en áður. Með auknu hitastigi verður uppgufun hraðari sem eykur enn á þurrka. Úrkoma hefur sums staðar aukist þar sem rigningar eru miklar fyrir meðan þurr svæðið upplifa meiri þurrka en áður. Hitabylgjur eru tíðari og öfgafyllri og köldum dögum hefur fækkað.

Heimildir:

<https://www.climatecommunication.org/climate/climate-warming/>

<https://www.climatecommunication.org/climate/global-warming/>

http://www.ecy.wa.gov/climatechange/extremeweather_more.htm

<http://www.ecy.wa.gov/climatechange/whatis.htm>

<http://www.ecy.wa.gov/climatechange/FAQ.htm#Q0>

Helgi Björnsson. (2015). Af hverju eru jöklar og ís á jörðinni? Spurningar af vísindavefnum um jökla og loftslagsmál. Mál og Menning, Reykjavík.

Vatnajökulsþjóðgarður (2017). Liftandi kennslustofa í loftslagsbreytingum. Fræðslubæklingur.

3.2 Jöklar

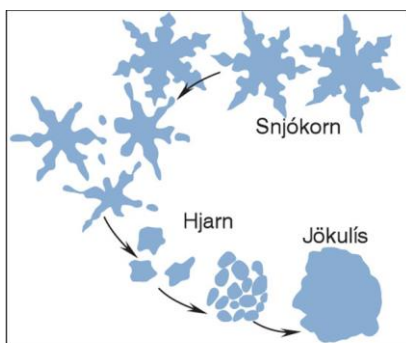
Jöklar þekja um 10% af flatarmáli landsins og geyma alls um 3600 km³ af ís, sem samsvarar 1 cm hækkun sjávarborðs. Stærstur er Vatnajökull (um 7800 km²) en hann er jafnframt stærsti jökull í Evrópu að rúmmáli. Stærstu jökla á Íslandi er að finna á sunnanverðu landinu vegna þess að þar er

hálent og úrkoma mest. Íslensku jöklarnir eru að meðaltali um 350 m þykkir, og ef öllum ís væri jafndreift yfir landið yrði íslagið um 35 m þykkt. Allur jökulísinn samsvarar 25 ára ársúrkomu sem fellur á landið. Jöklar á Íslandi eru svokallaðir þíðjöklar og hitastig íssins um 0°C sem gerir að ísinn aflagast og flæðir auðveldlega. Gaddjöklar eru algengir á heimskautasvæðum og hitastigið undir frostmarki, og eru frosnir við undirlagið. Hitastig íssins hefur mikil áhrif á hreyfingu jöklanna, rof og afrennsli frá þeim. Jöklar eru stærsta ferksvatns forðabúur á jörðinni. Heimskautajöklarnir varðveita mikilvægar upplýsingar um sögu jarðar sem er að finna í lögum jökulíssins og hægt er að skoða með ískjarnarannsóknnum; þannig er hægt að rekja t.a.m. eldgosatíðni og veðurfarssögu.

Síendurtekin eldgos og jökulrof einkenna íslenskt landslag, svo sem dalir, firðir og fjallatoppar. Mestu jökulrof eru rakin jökla ísaldar þó jöklar Íslands séu enn að móta landið. Jöklarnir laða að ferðamenn allan ársins hring og helsta aðdráttarafli sveitarfélagsins Hornafjarðar er Vatnajökulsþjóðgarður. Nábylið við jökla og jökulfljót er mikilvægur hluti af sögu og menningu Íslendinga og hvergi hefur það verið nánara og erfiðara en við suðaustanverðan Vatnajökul. Suðurjöklarnir einkenna mjög landslag svæðisins og eru jökulsporðarnir víðast hvar aðgengilegir. Þessir jöklar hörfa nú hratt og má líta á svæðið sem lifandi kennslustofu í loftslags- og jöklabreytingum. Á láglandinu sunnan jökuls sjást víða ummerki um meiri útbreiðslu skriðjöklanna og rofmátt þeirra. Sandarnir umhverfis jökulinn eru sambland rofefna jöklanna sem árnar bera fram og eldfjallaösku og er Skeiðarársandur stærsti virki jökulsandur í heimi (um 1300 km²).

3.2.1 Jökulís

Jöklar verða til þar sem meiri snjór fellur til að vetri en nær að bráðna á sumri. Snjóalög fergjast með tímanum og umbreytast í hjarn á safnsvæði jöklanna. Við aukinn þrýsting af yngri snjó sem safnast ofan á þann eldri renna snjókornin saman, loft hættir að leika um snjóinn og til verða loftbólur, en þá hefur snjóinn breyst í jökulís og eðlismassi hans er um 900 kg/m³. Fyrir íslenska jökla tekur þetta ferli um 5–6 ár og verður á 20–30 m dýpi, en á köldustu jökulum jarðar gerist þetta á 60–100 m dýpi og



getur tekið yfir 100 ár. Ískristallar stækka á ferð sinni niður að jökulsporði og geta náð stærð mannhöfuðs við íslenska jökulsporða. Því hærra sem hitastig íssins er þeim mun hraðar vaxa ískristallarnir á leið niður jökulinn. Við jökulbotn á Suðurskautslandinu verða ískristallarnir allt að 1 m að þvermáli enda er ísinn þar þúsund sinnum eldri en jökulísinn hér á landi.

Mynd 9. Ummyndun snævar í ís. Heimild: Jóhann Ísak Pétursson og Jón Gauti Jónsson, 2004.

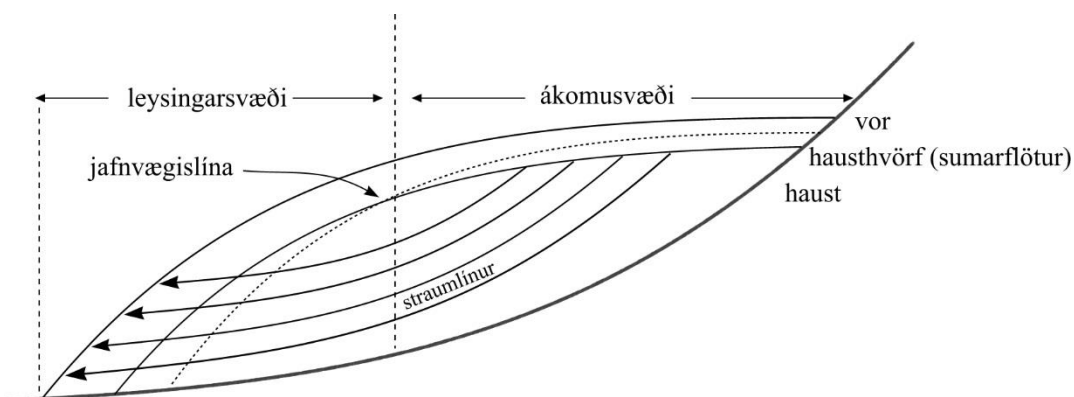
Sá hluti jökuls þar sem snjór fellur og nær ekki að bráðna yfir sumarið nefnist safnsvæði (ákomusvæði, snjófyrningasvæði) en þar fyrir neðan er kallað leysingarsvæði. Snælína/jafnvægislína markar þessi skil en hún er breytileg eftir hitastigi, veðurfari og landslagi. Ef veðurfar héldist stöðugt,

myndi jafnvægislínan ekki breytast og jökullinn halda lögun sinni, en slík er ekki raunin. Snælinan kemur mjög greinilega fram á jöklinum seinni part sumars til að mynda á loftmyndum og gervitunglamyndum, en þá sést dökkt yfirborð leysingarsvæðisins og hvítt safnsvæðið vel.



Mynd 10. Landsat gervitunglamynd frá árinu 1994 af Vatnajökli. Hægt er að rekja hæð snælinu, en hún skilur að snævipakið hvítt yfirborðið og dekkri jökulísinn að hausti. Heimild: <https://landsat.usgs.gov/>.

Á Íslandi er jafnvægislínan á bilinu 800 m (Drangjökull) til 1700 m (Herðubreið) yfir sjávarmáli. Á sunnanverðum Vatnajökli er hún í um 1100–1200 m hæð yfir sjávarmáli. Skriðjökklar skriða þó niður fyrir þessi mörk og ná sumir hverjir í 10–100 m hæð yfir sjávarmáli eins og til dæmis á Suðausturlandi. Í lok 19. aldar þegar flestir skriðjökklar Vatnajökuls náði hámarks útbreiðslu á sögulegum tíma, var hæð snælinu líklega um 300 m lægri en í dag. Þá var safnsvæði jöklanna umtalsvert stærra. Meðalhiti var lægri og leysingartímabilið styttra og þar af leiðandi minni leysing og jöklarnir stækkuðu, skriðu niður dali og náðu sumir hverjar langt fram á láglandið

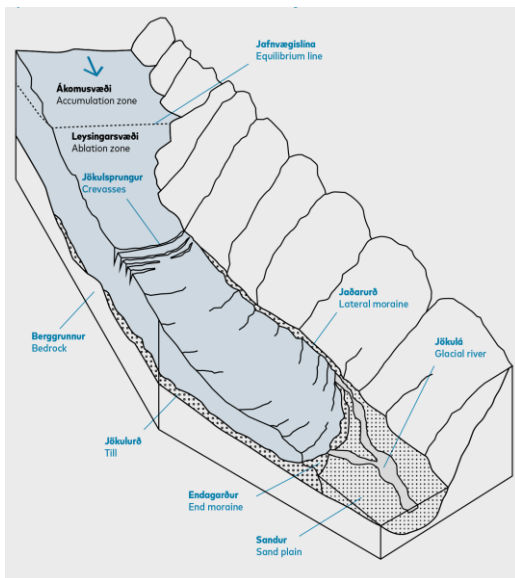


Mynd 11. Þverskurður af jökli sem sýnir ákomusvæði eða safnsvæði og leysingarsvæði, ásamt snælinu.

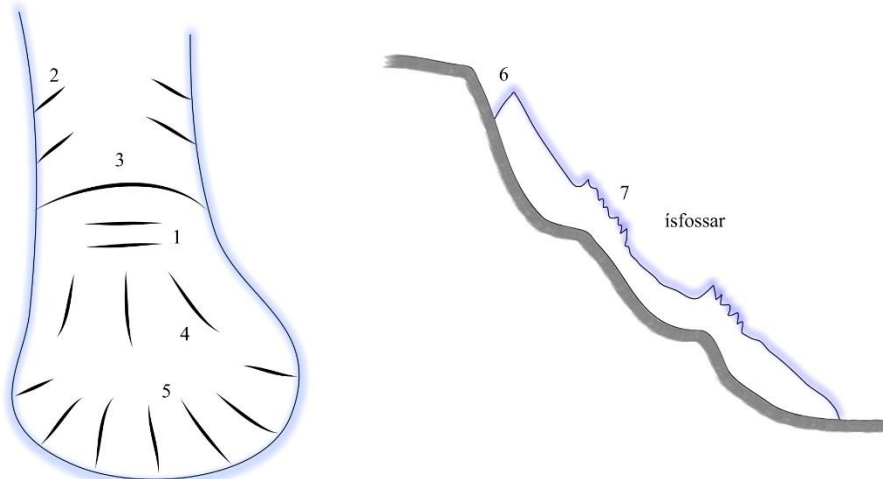
Á safnsvæði fergist ísinn undir sífelld auknum massa og tekur að hníga undan eigin þunga eins og seigfljótandi vökvi eða deig og leitar undan halla. Þannig skríður jökullinn niður fjallshlíðar og dali og bráðnar með hækkanði lofthita eftir því sem neðar dregur. Sprungur í yfirborði myndast þegar jökullinn skríður yfir ójöfnur í undirlaginu eða dregst meðfram fjallshlíðum.

Sprungur eru einkennandi fyrir skriðjökla, sérstaklega þá sem fara niður mikinn bratta. Efsta lag jökulsins er stökkt en neðar er jökullinn seigari. Við hreyfingu jökulsins brotnar upp stökkt yfirborð hans og sprungur myndast.

- Dýpt jökulsprungna á Íslandi er sjaldan meiri en um 30 m en getur verið talsvert meiri í gaddjöklum erlendis.
- Helstu tegundir jökulsprungna eru þversprungur, jaðarsprungur og langsprungur.
- Sprungur geta leynst undir snjó en síðsumars verða þó margar þeirra áberandi.
- Á leysingasvæðum er mikið af opnum og áberandi sprungum sem sumar hverjar þróast yfir í svelgi.

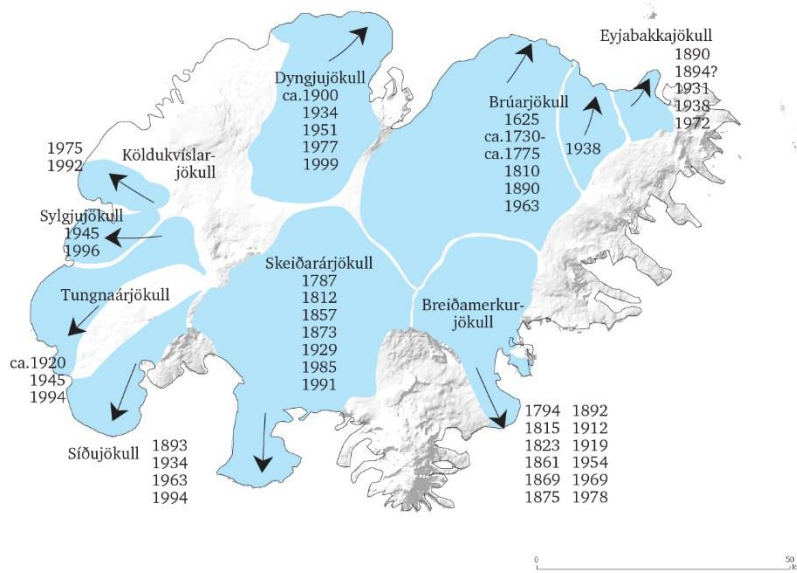


Mynd 12. Dæmigerður skriðjökull. Jökullinn fergist undir eigin þunga og tekur að skríða eins og deig og leitar undan halla frá safnsvæði niður á leysingasvæðið. Sprungur í yfirborði myndast þegar jökullinn skríður yfir ójöfnur í undirlaginu eða dregst meðfram fjallshlíðum. Teikning: Atli Hilmarsson fyrir Hrafnhildur Hannesdóttir og Snorri Baldursson, 2017



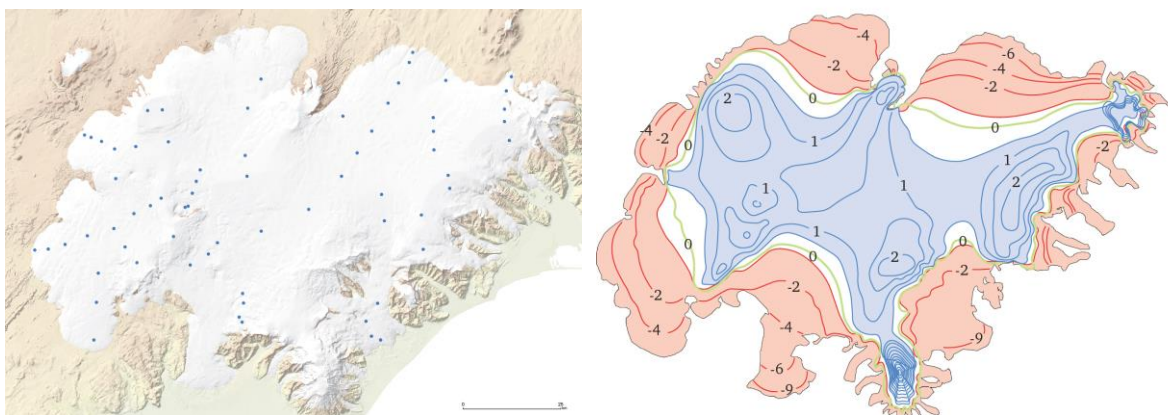
Mynd 13. Helstu gerðir jökulsprungna. 1) þversprungur, 2) jaðarsprungur, 3) hófsprungur, 4) langsprungur, 5) geislasprungur, 6) jökulgap, 7) fallsprungur.

Skríðhraði jökulsins ræðst af hitastigi íssins, halla undirlagsins og jafnvel veðráttu, til að mynda eykst skríðhraðinn í miklum rigningum en þá nær regnvatnið niður á jökulbotn og minnkar viðnám. Stærri skríðjökla skriða fram að meðaltali um 1 m á sólarhring, en með gervitunglamyndum og GPS mælitækjum er hægt að fylgjast með hreyfingum jökulsins. Sumir jökla hlaupa fram, en þá verður tímabundin aukning í skríðhraða þeirra. Vatn með miklum þrýstingi dreifist um jökulbotninn og lyftir jöklinum svo skríð hans getur aukist hundraðfalt, sporðurinn getur þá færst fram mörg hundruð metra á nokkrum mánuðum. Flestir framhlaupsjökla hafa lítinn halla (á bilinu 1,5–4°) og hreyfast of hægt til þess að halda í við snjósöfnunina á safnsvæðinu. Til þess að rétta af þetta ójafnvægi hlaupa þeir fram. Framhlaupsjökla telja um 75% af yfirborði Vatnajökuls og margir þeirra hlaupa reglulega fram. Hins vegar hefur ekki orðið vart við nein framhlaup í Vatnajökli frá því á síðasta áratug 20. aldar.

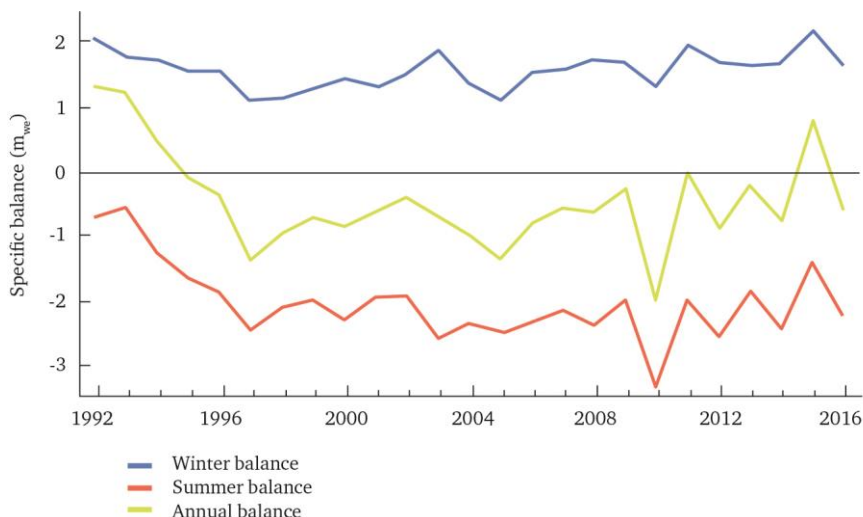


Mynd 14. Framhlaup í Vatnajökli. Heimild: Helgi Björnsson o.fl. 2003.

Afkoma jökuls er mismunur í ákomu (snjósöfnun) og leysingu. Afkoma er sögð jákvæð ef meiri snjór safnast á jökulinn en tapast við leysingu, en neikvæð ef leysingin hefur vinninginn. Á vorin er vetrarsnjór mældur með því að bora kjarna gegnum vetrarlagið og á haustin er leysingin mæld með því að lesa af stikum sem skildar eru eftir í borholunum. Á hæstu tindum getur safnast snjór yfir sumarmánuðina og neðst á jökulsporðunum er sums staðar meira að segja leysing yfir vetrarmánuðina. Breytingar í afkomu gefa oft áreiðanlegar vísbendingar um loftslagsbreytingar.



Mynd 15. Staðsetning afkomumælistaða á Vatnajökli sem Jarðvísindastofnun háskólans sér um (vinstri) og ársafkoma jökulsins árið 2015–2016 (frá hausti til hausti). Heimild: Finnur Pálsson o.fl. 2016. Endurgerð birt í Snorri Baldursson o.fl., 2018.



Mynd 16. Vetrar-, sumar- og ársafkoma Vatnajökuls frá upphafi mælinga. Heimild: Finnur Pálsson o.fl. 2016.

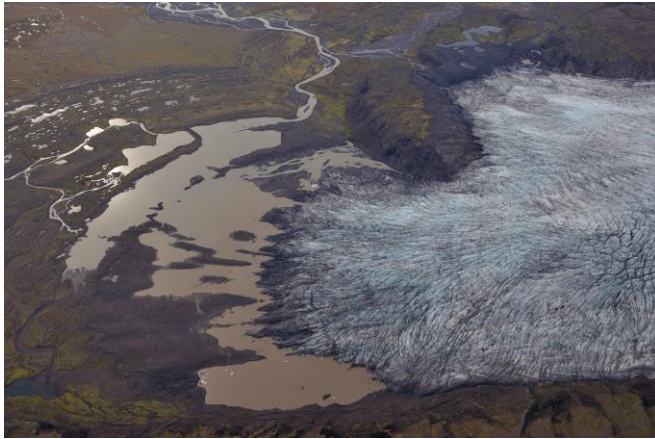
Viðbrögð jökla við breytingum á loftslagi eru mismunandi eftir stærð þeirra og lögun en flestir jöklar svara loftslagsbreytingum innan nokkurra ára með breytingum á stöðu sporðsins. Jökullinn getur hopað og gengið fram í ár eða áratugi þar til áhrif breytinganna eru að fullu komin fram. Á stuttum og bröttum jöklum geta áhrif breytinganna verið að mestu komin fram við sporðinn eftir einn til tvo áratugi en daljöklar og stórir flatir skriðjöklar eru mun lengur að bregðast við breytingum í loftslagi.

Hlýnun hefur eftirfarandi áhrif á jöklanna:

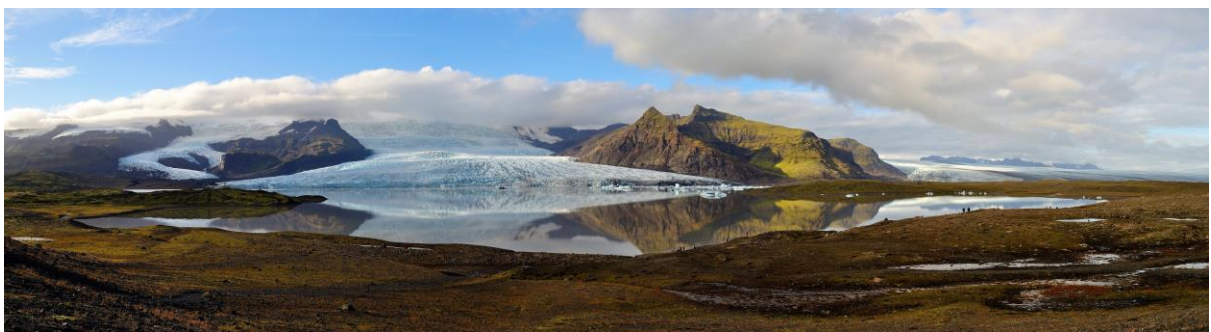
- Því hlýrra sem verður umfram 0°C, því hraðar bráðnar ísinn.
- Það verða fleiri dagar þar sem hitastigið fer yfir 0°C og því fleiri dagar með leysingu.
- Jöklarnir skriða hraðar og kelfing eykst þar sem jöklarnir ganga í sjó eða vötn.

3.2.2. Landmótun jökla og jöklabreytingar

Ísland er í stórum dráttum mótað af upphleðslu jarðlaga í eldgosum og rofi þeirra af völdum jökla og vatnsfalla. Jökulís og jökulár eru mikilhæf roföfl í landmótun og móta undirlagið með margvíslegum hætti. Sjálfur ísinn er of mjúkur til þess að sverfa harðan berggrunninn en grjót og mól sem hann ber með sér við jökulbotn grafa og rista rákir í undirlagið. Jöklar taka með sér grjót og sand þegar þeir skriða fram og er efnið ýmist undir, inni í eða ofan á jöklinum og kallast einu nafni jökulruðningur. Hann veltist með og mylst undan þunga jökulsins og hleðst að lokum upp í jökulgarða framan við sporðinn. Skriðjöklar geta grafið sig býsna djúpt niður og þegar þeir hopa safnast vatn í dældina sem þeir hafa grafið og myndast þar lón. Landslag við jökuljaðra er síbreytilegt og á síðastliðnum árum og áratugum hafa breytingarnar við suðurskriðjöklar Vatnajökuls verið mjög hraðar. Meðal áberandi jökulmenja sem þar má finna eru jökulgarðar, jökullón, tómir árfarvegir og ummerki jökulhlaupa. Við jaðar Vatnajökuls eru skólabókardæmi um landmótunarferli og form sem verða meira og meira sýnileg þegar skriðjöklarnir hörfa. Mikil kortlagningarvinna hefur farið fram fyrir framan flesta sporða jökulsins á síðastliðnum áratugum.



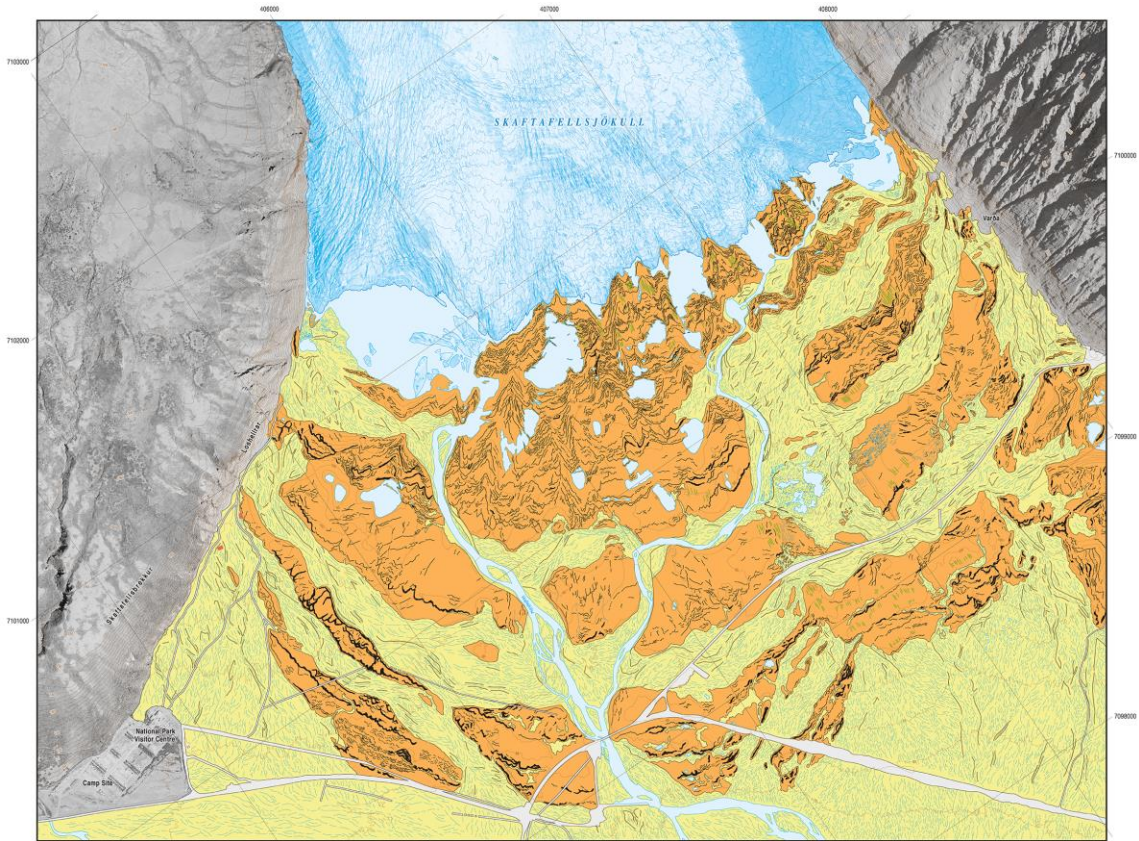
Mynd 17. Lón framan Fláajökuls. Ljósmynd: Snævarr Guðmundsson.



Mynd 18. Fjallsárlón, Fjallsjökull og Breiðamerkurfjall. Ljósmynd: Snævarr Guðmundsson.



Mynd 19. Lón framan Skaftafellsjökuls (fjær) og Svínafellsjökuls (nær). Ljósmynd: Snævarr Guðmundsson.

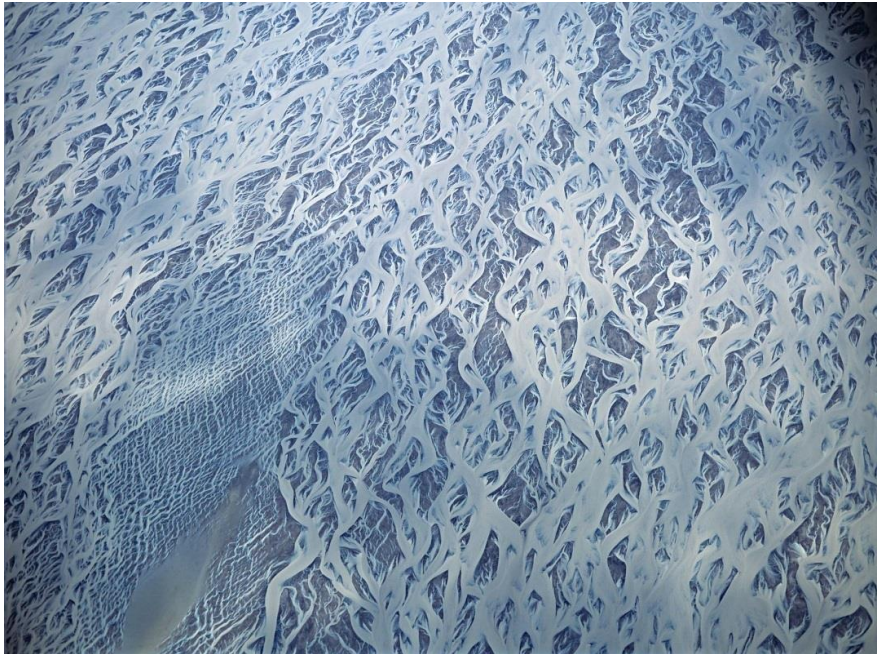


Mynd 20. Framland Skaftafellsjökuls. Út frá kortlagning á jökulmenjum er hægt að rekja hörfun jökulsins frá hámarki litlu ísaldar. Heimild: Evans o.fl. 2017.

Jöklar skríða yfir gróið land og skilja eftir sig auðnir og jökulsanda. Jökulár grafa farvegi og bera fram jökulset en geta einnig breytt farvegi sínum og skilið eftir auða árfarvegi eins og þekkest víða á Suðausturlandi. Árið 1974 var byggð lengsta brú landsins yfir Skeiðará en árið 2009 tók vatn sem áður rann í farvegi Skeiðarár að renna vestur með Skeiðarárjökli og í farveg Gígjukvíslar, en þetta gerðist í kjölfar hörfunar jökulsins. Jökulár hlaða sífellt undir sig aur en við það hækkar farvegurinn og árnar flæmast til og greinast í kvíslar. Þannig myndast auravötn og sandar sem einkenna víðfeðm svæði sunnan Vatnajökuls.

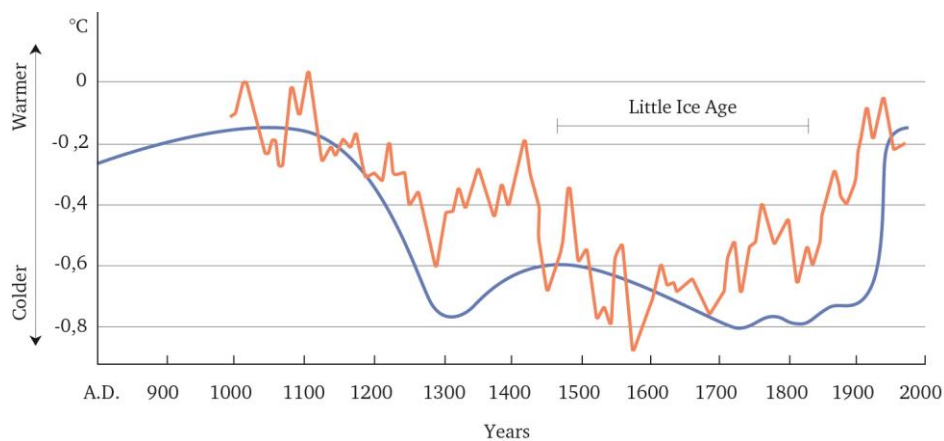


Mynd 21. Á fimmta áratug var farið í það stórvirki að brúa Heinabergsvötn, en skömmu síðar tóku vötnin að renna í Kolgrímu og hafa gert síðan. Ljósmynd: Snævarr Guðmundsson.



Mynd 22. Aurar Djúpár í Fljótshverfi eftir að hún sameinast Hverfisfljóti, Brunná og Núpsvötnum. Ljósmynd: Oddur Sigurðsson.

Á 14. öld hófst tímabil víðs vegar á norðurhveli jarðar sem kallað hefur verið litla ísöld. Við landnám (árið 874) voru jöklar mun minni en þeir eru nú en á litlu ísöld tóku þeir að stækka og ganga fram. Á þessum tíma var hafís algengur, gróður dafnaði illa og búsetuskilyrði fyrir fólk og skepnur voru erfið. Loftslag var breytilegt á þessu tímabili og alls ekki alltaf jafnkalt. Suðurskriðjökla Vatnajökuls voru í mikilli framrás á 17. og 18. öld og náðu þá langt fram á láglendið. Þeir hörfuðu og gengu lítillega fram á víxl næstu áratugi og aldir fram til um 1890 þegar flestir þeirra náðu sögulegu hámarki.



Mynd 23. Meðalhiti á Íslandi s. 1100 ár. Litla ísöldin (1450–1900) sést greinilega sem kaldara tímabil. Appelsínugula línan er byggð á súrefnissamsætum í ískjörnum Grænlandsjökuls. Bláa línan er mat Sigurðar Þórarinnssonar (1974). Heimild: Helgi Björnsson, 2017. Endurgerð birt í Snorri Baldursson o.fl., 2018.

Þessir jöklar eru á hlýjasta og úrkomumesta svæði landsins og bregðast hratt við breytingum í hita og úrkomu og gefa einstakt tækifæri til þess að skoða tengsl jökla- og loftslagsbreytinga. Saga jöklabreytinga við sunnanverðan Vatnajökul hefur verið rakin út frá margvíslegum gögnum, þar á meðal rituðum heimildum, enda jöklarnir í alfaraleið. Skrif heimamanna, ferðalanga og fræðimanna sem lögðu leið sína um sveitirnar sunnan Vatnajökuls á 17., 18. og 19. öld veita innsýn í það tímabil þegar jöklar gengu lengst fram á láglendið. Skrifin lýsa tjóni á nytjalandi og jafnvel húsakosti af völdum vaxandi jökla, jökulhlaupa og síbreytilegra jökuláa. Við framgang jöklanna lögðust af nokkrar þjóðleiðir milli byggða norðan, austan og sunnan jökuls. Dæmi er þetta er svokallaður Norðlingavegur

sem lá úr Fljótsdal niður í Lón og er kenndur við Norðlendinga sem sóttu sjóróðra á Suðausturlandi. Einnig er talið að leið hafi legið milli Morsárdals og Möðrudals á Fjöllum, en hún var aflögð fyrir 1700.

Vel varðveittir jökulgarðar og jaðarurðir sem og aðrar jökulmenjar geyma upplýsingar um framvindu breytinganna. Út frá kortum frá mismunandi tímum (allt frá upphafi 20. aldar) ásamt loftmyndum, gervitunglamyndum, leysigeisla-mælingum (lidar mælingum) á yfirborði jöklanna og GPS hæðarmælingum hefur verið hægt að endurgera yfirborð jöklanna á mismunandi tímum og reikna út breytingar í flatarmáli, hæð og rúmmáli.

Frá lokum litlu ísaldar hefur loftslag farið hlýnandi og jöklar tóku að hörfa í lok 19. aldar. Þeir hopuðu hratt á fjórða og fimmta áratug 20. aldar en eftir það dró úr hörfuninni fram til 1970 þegar sumir tóku að ganga fram á ný eða stóðu í stað. Jöklarnir tóku síðan að hörfa hratt eftir 1995. Svo virðist sem jöklabreytingar á Íslandi síðan 1930 séu fyrst og fremst afleiðing breytinga í hitafari á þessu tímabili en langtímabreytingar í úrkomu eru ekki miklar. Hop suðurskriðjökla frá ~1890 til okkar daga nemur 1–6 km eftir því um hvaða jökul er að ræða en það eitt og sér segir ekki alla söguna, því yfirborð þeirra hefur lækkað mikið eða um allt að 300 m fremst á sporðunum. Mesta yfirborðslækkunin nemur því um fjórum Hallgrímskirkjuturnum!

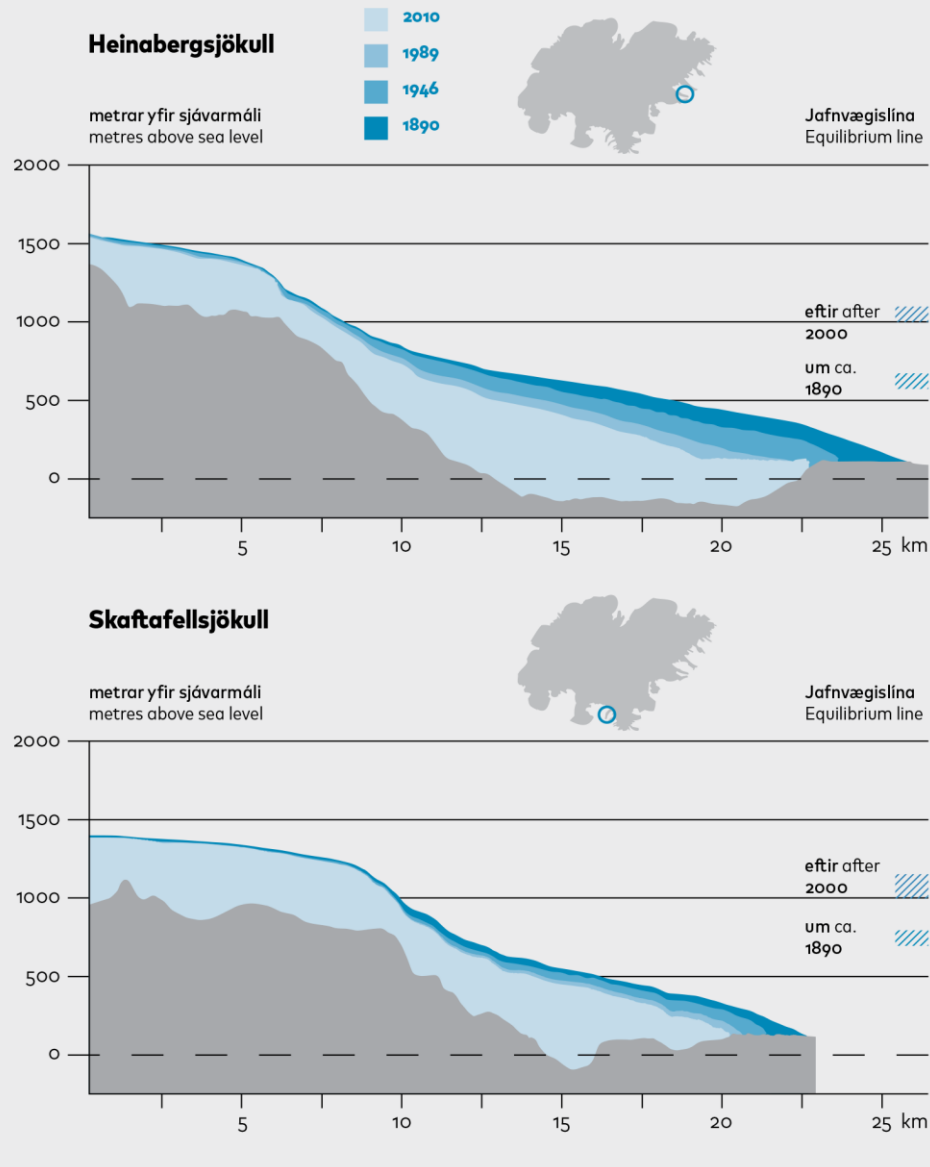
Í heild hafa suðurskriðjöklar Vatnajökuls á tímabilinu ~1890–2010 minnkað sem nemur 300 km², og þar af Breiðamerkurjökull einn um 115 km². Til samanburðar nær Stór-Reykjavíkursvæðið yfir 275 km² og tanginn sem Höfn stendur á eru um 4 km². Út frá flatarmálsbreytingum og lækkun yfirborðs er hægt að reikna rúmmálsrýrnun þeirra og nemur hún um 13 milljörðum vörubílshlassa af ís (ef hver þeirra tekur 10 m³).

Langsnið Heinabergsjökuls og Skaftafellsjökuls sem sýna þynningu jöklanna frá því að þeir voru mestir um 1890

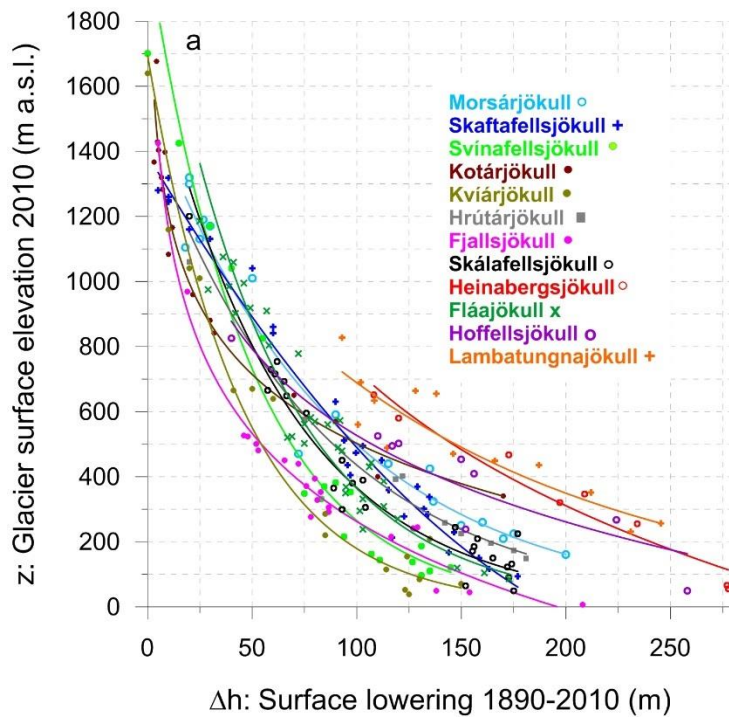
Hæð jafnvægislínu í kringum 1890 og eftir 2000 er sýnd á myndinni

Longitudinal profiles of Heinabergsjökull and Skaftafellsjökull showing their surface lowering since their maximum extent in ca. 1890

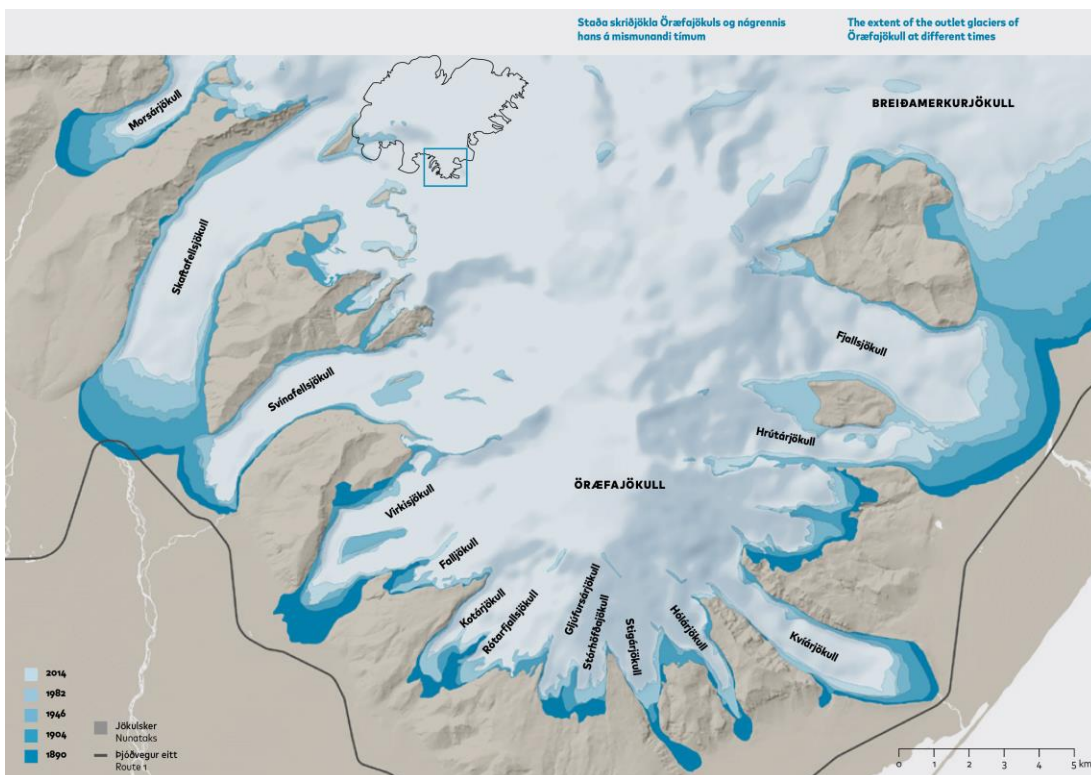
The equilibrium line altitude around 1890 and after 2000 is shown



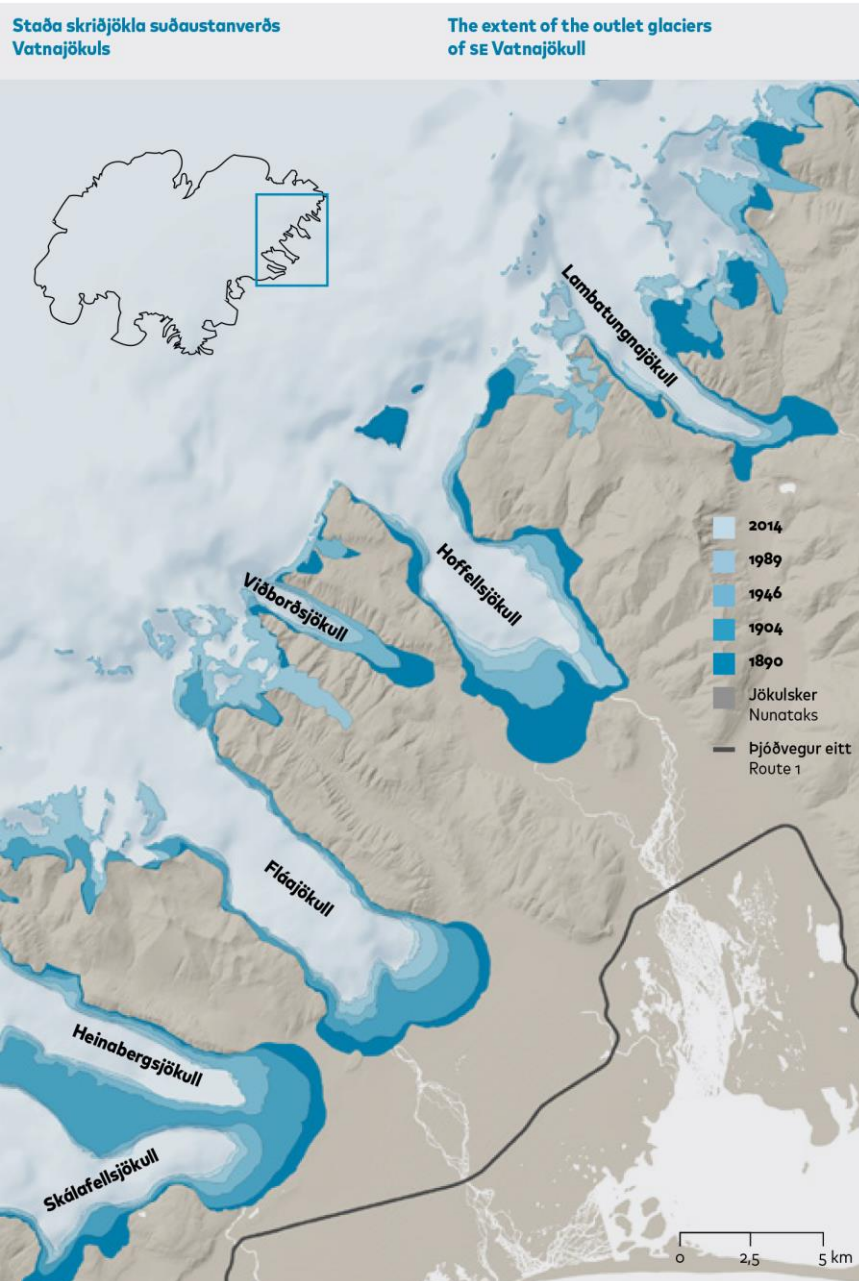
Mynd 24. Langsnið Heinabergsjökuls og Skaftafellsjökuls sem sýna þynningu þeirra og hörfun frá því að þeir voru mestir í kringum 1890. Heimild: Hrafnhildur Hannesdóttir o.fl. 2015. Endurgerð birt í Hrafnhildur Hannesdóttir og Snorri Baldursson, 2017.



Mynd 25. Lækkun jökulyfirborðs nokkurra suðurskriðjökla Vatnajökuls á tímabilinu ~1890–2010 með hæð yfir sjó fyrir. Af myndinni sést að yfirborðslækkunin er hverfandi ofarlega á jöklunum en hefur orðið allt að 250 m fremst á sporðinum. Heimild: Hrafnhildur Hannesdóttir o.fl., 2015

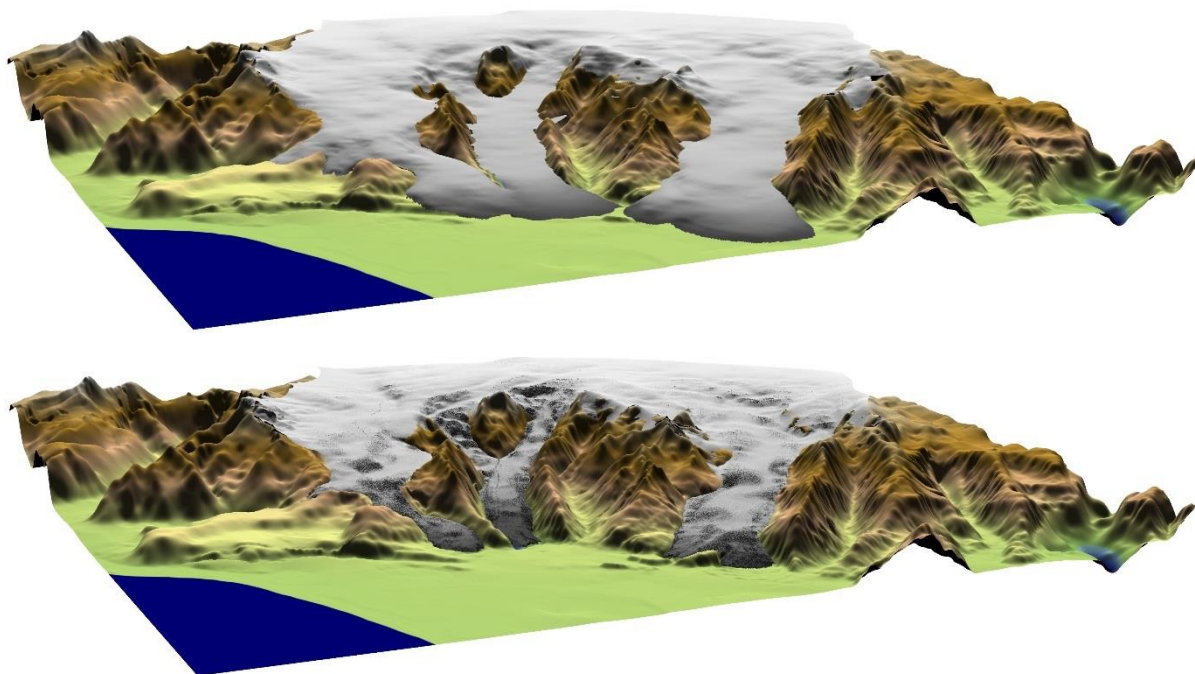


Mynd 26. Útbreiðsla skriðjökla Örfæfajökuls á mismunandi tíma. Heimild: Hrafnhildur Hannesdóttir o.fl. 2015, Snævarr Guðmundsson 2014, óbirt gögn Snævarr Guðmundsson og Joaquin Belart, Daði Björnsson, 2015. Endurgerð birt í Hrafnhildur Hannesdóttir og Snorri Baldursson, 2017.



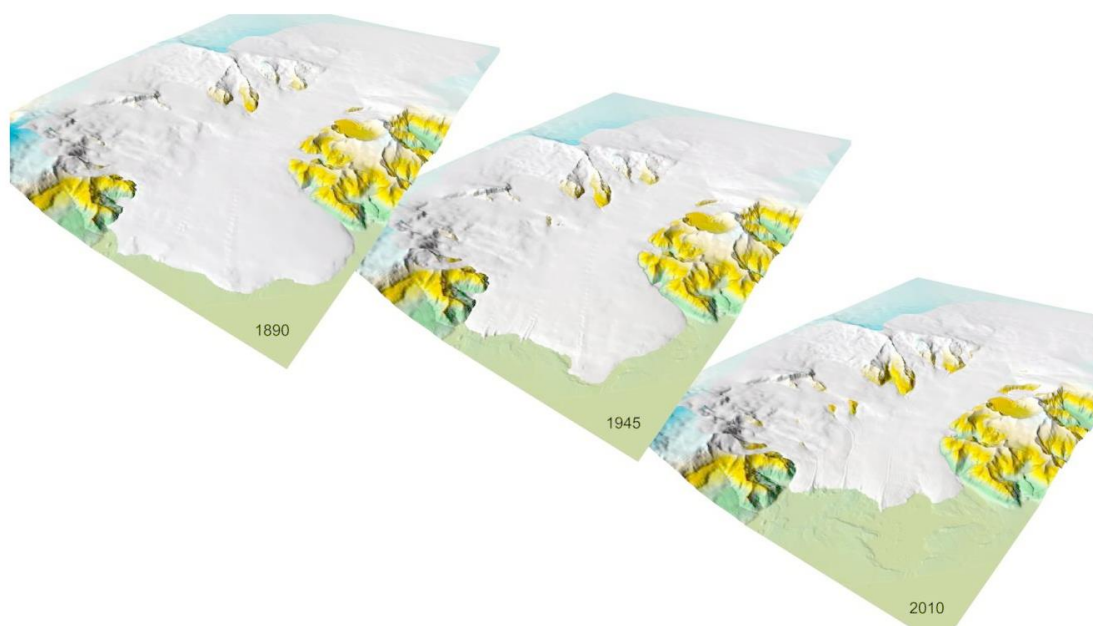
Mynd 27. Útbreiðsla skriðjökla í suðaustanverðum Vatnajökli á mismunandi tímum. Heimild: Hrafnhildur Hannesdóttir o.fl. 2015, Daði Björnsson 2015, Guðfinna Aðalgeirsdóttir o.fl. 2011. Endurgerð birt í Hrafnhildur Hannesdóttir og Snorri Baldursson, 2017.

Rúmmálgætt skriðjökla á tímabilinu 1890–2010 er í kringum 15–50% en rýrnun einstakra jökla er háð stærð safnsvæðis þeirra (miðað við leysingasvæðið), halla undirlagsins og því hvort lón hafi myndast framan við þá (sem eykur leysingu). Síðan um aldamótin 2000 hefur rýrnun þeirra verið með því mesta sem mælt hefur í heiminum á flatarmálseiningu.

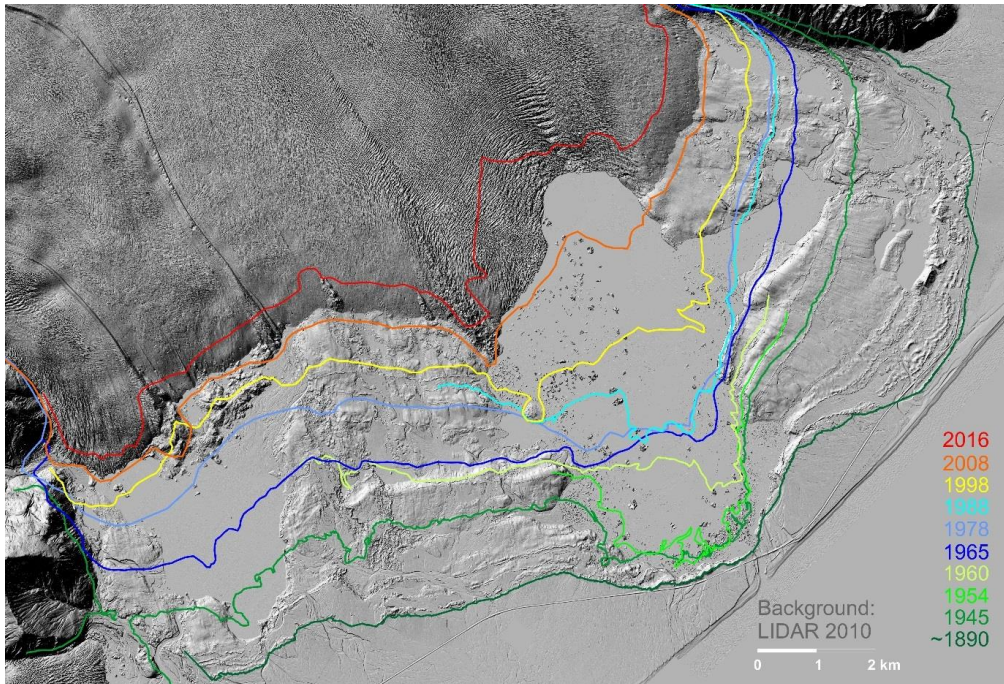


Mynd 28. Endurgert yfirborð Skálafellsjökull, Heinabergsjökull og Fláajökuls í kringum 1890 (efri mynd) samkvæmt kortlagningu á jökulmenjum og elstu kortum frá 1904. Yfirborð sömu jökla samkvæmt leysigeisla­mælingum frá 2010. Heimild: óbirt gögn Hrafnhildur Hannesdóttir.

Þótt hofið hér á landi sé mikið tapar Grænlandsjökull nú árlega um helmingi meiri ís en suðurskriðjök­lar Vatnajökuls samanlagt á fyrrgreindu 120 ára tímabili. Rýrnun jökla (einkum á Suðurskautslandinu og Grænlandi) er ein helsta orsök hækkandi sjávarborðs sem nemur nú um 3–4 mm á ári að meðaltali. Þeir 130 km³ sem Vatnajökull tapaði á tímabilinu 1890–2010 samsvarar um 0,33 mm hækkun sjávarborðs á heimsvísu.

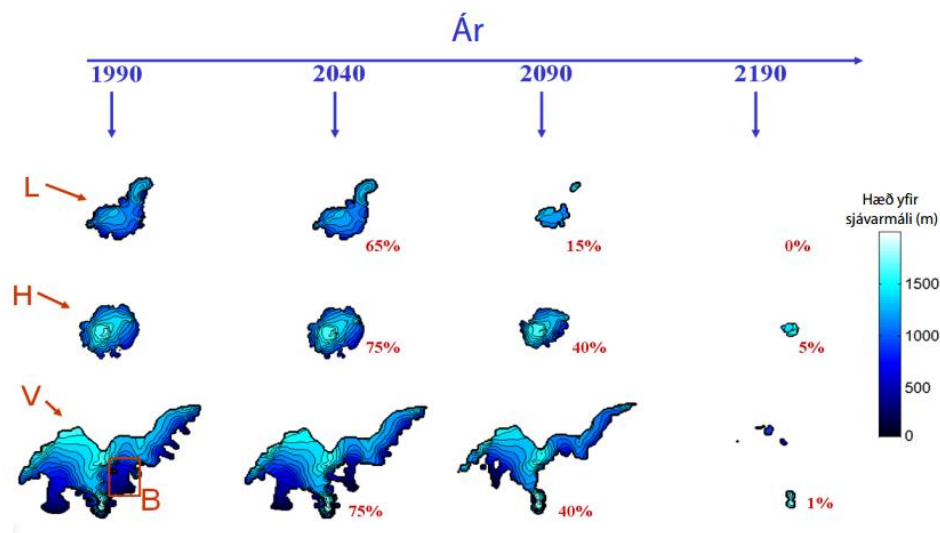


Mynd 29. Breiðamerkurjökull 1890, 1945 og 2010. Heimild: Snævarr Guðmundsson, 2014.



Mynd 30. Hörfun Breiðamerkurjökuls og stækkun Jökulsárlóns. Landslagslíkanið er byggt á leysigeislamælingum árið 2010. Mynd frá jöklahópi Jarðvísindastofnunar háskólans.

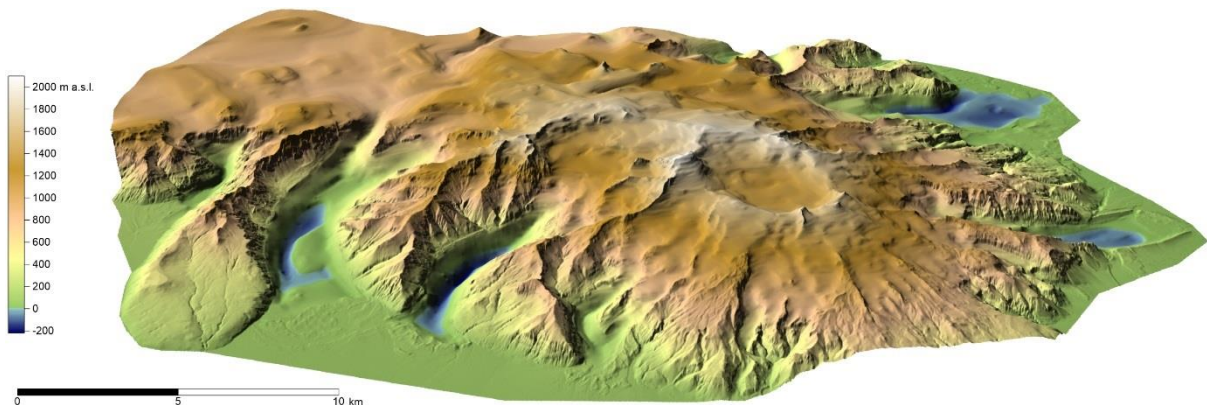
Breiðamerkurjökull náði lengst fram um 1890 og höfðu menn áhyggjur af því að hann myndi ganga alveg í sjó fram og loka Þjóðleiðinni um Suðausturland, en þá voru aðeins eftir um 250 m niður að strönd. Við rætur jökulsins myndaðist á árunum 1934–1935 gríðarstórt sporðlón (Jökulsárlón á Breiðamerkursandi). Árið 2015 var lónið orðið um 8 km að lengd og dýpsta stöðuvatn landsins eða um 248 m djúpt. Lónið er þekkt á heimsvísu fyrir einstaka náttúrefugurð og hefur á stuttum tíma orðið einn helsti ferðamannastaður landsins.



Mynd 4.2 Reiknaðar breytingar á Langjökli, Hofsjökli og sunnanverðum Vatnajökli skv. sviðsmyndum um veðurfarsbreytingar. Gefnar eru tölur um rúmmál sem hlutfall af rúmmáli 1990¹⁷.

Mynd 31. Líkanreikningar sem sýna breytingar á Langjökli, Hofsjökli og sunnanverðum Vatnajökli samkvæmt sviðsmyndum um veðurfarsbreytingar. Gefnar tölur eru rúmmál sem hlutfall af rúmmáli 1990. Heimild: Tómas Jóhannesson o.fl. 2007.

Með íssjármælingum Jarðvísindastofnunar Háskólans á landslagi undir Vatnajökli á síðastliðnum áratugum, hefur komið í ljós að undir flestum skriðjöklanna sem ganga út frá sunnanverðum Vatnajökli eru miklir og djúpir dalir sem margir hverjir ná undir sjávarmál.



Mynd 32. Íssjármælingar hafa lyft hulunni af stærsta eldfjalli landsins. Hér sést Öraefajökull úr suðvestri án jökulsins ásamt stöðuvötnum í stærstu lægðum. Mynd frá Eyjólfri Magnússyni og fleirum 2015.

Þegar skriðjöklarnir hopa myndast lón innan við jökulgarðana, oftast fyrst nokkrar aðskildar tjarnir sem renna saman í langt og mjótt stöðuvatn milli jökulgarðs og jökuljaðars. Lónið stækkar hratt þegar jökullinn þynnist; sporðurinn flýtur upp og brotnar í jaka. Að lokum getur myndast stór lón við þverhníptan sporð sem jökullinn kelfir út í. Lónin geta flýtt fyrir hopi jökulsporðsins, því jökulsporðurinn getur flotið upp og byrjað að kelfa. Lón hafa á síðustu árum myndast framan við marga jökulsporða til dæmis við Svínafellsjökul og Skaftafellsjökul en þessi tvö lón sýna vel þróun jaðarlóna.

Fallegir ísjakar fljóta um á lónunum framan við jöklanna og iðulega sjást þeir á ströndinni sunnan Jökulsárlóns. Hafa ber í huga að einungis 10% af þeim sjást ofan vatnsyfirborðsins. Þeir eru mjög óstöðugir og öllum ráðið frá því að stíga á þá fæti. Jökulísinn er blandaður jökulruðningi, ösku og loftbólum og sést þessi samsetning glögglega á ísjökum sem brotnað hafa af sporðinum.



Mynd 33. Fljótandi ísjakar á Jökulsárlóni, Öraefajökull í bakgrunni. Ljósmynd: Hrafnhildur Hannesdóttir.

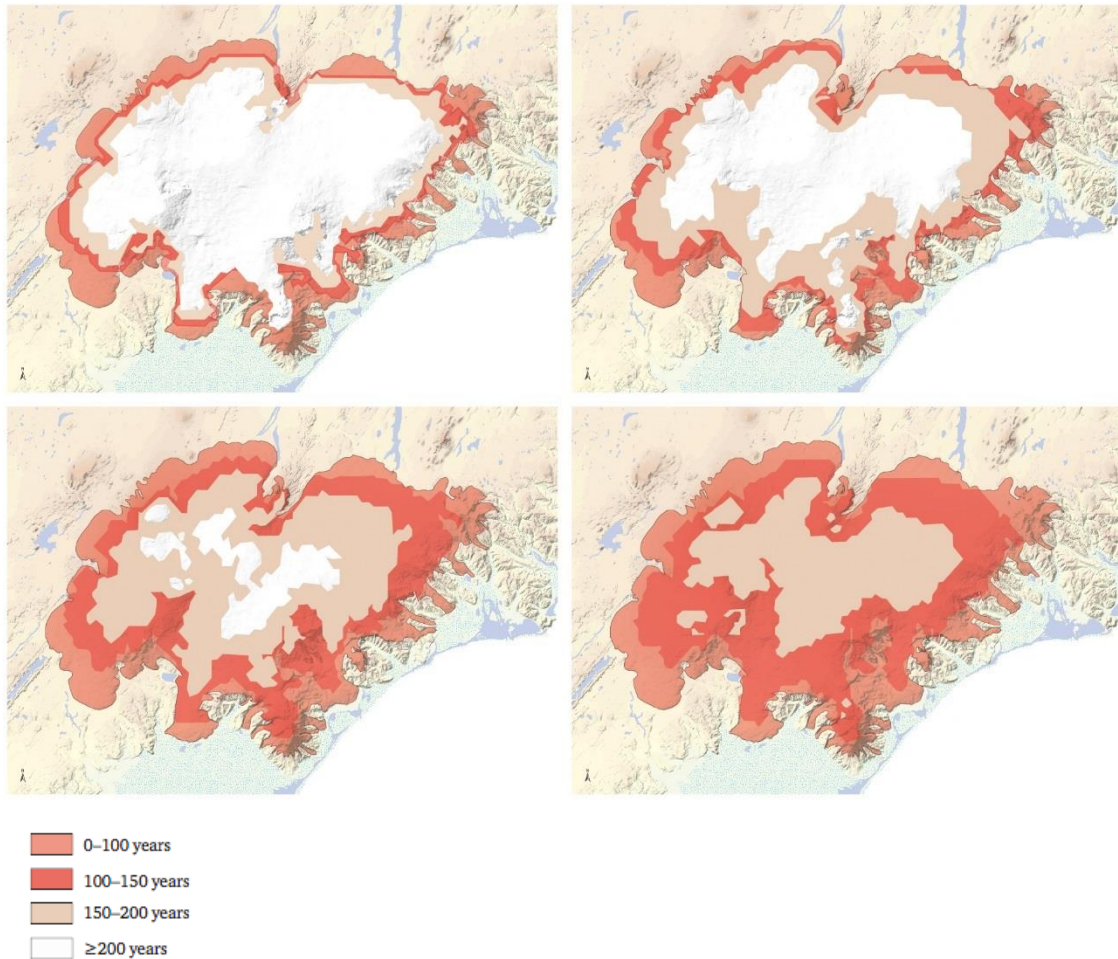
Blái litur jökulíssins stafar af því að hann gleypir rauðar og gular bylgjur litrófsins en ekki þær bláu sem endurkastast. . Ef mikið er af loftbólum í ísnum nær bláminn ekki yfirtón og hann verður hvítari að sjá.

Á síðastliðnum áratug hafa miklar skriður eða berghlaup fallið á skriðjöklana. Í mars 2007 féll mikið berghlaup á Morsárjökul og er það eitt hið stærsta á Íslandi í áratugi. Mælingar hafa verið gerðar á því hvaða áhrif einangrun skriðunnar hefur á leysingu og hversu hratt hún flyst niður með jöklinum (um 80–90 cm/ári). Jökulísinn undir bergflóðsurðinni er einangraður frá lofthita og geislun og bráðnar því mun hægar en ísinn umhverfis. Þrátt fyrir að mikið farg hafi lagst yfir jökulinn við bergflóðið virðist hvorki skriðhraði hans né hophraði frambrúnar jökulsporðsins hafa breyst mikið frá því að hrundi átti sér stað. Óstöðugar fjallshlíðar vegna rofs jökulsins og síðan minnkandi aðhald vegna hörfunar hans er líklegasta skýringin á berghlaupinu, ásamt veikleikum í berggrunnum og minnkandi sífrera í jörðu. Auk skriðunnar er einnig hættu á að hrún ofan í jökullón framan við hopandi jökla valdi skyndilegum flóðbylgjum á lónum sem eru mörg hver vinsæl meðal ferðamanna.

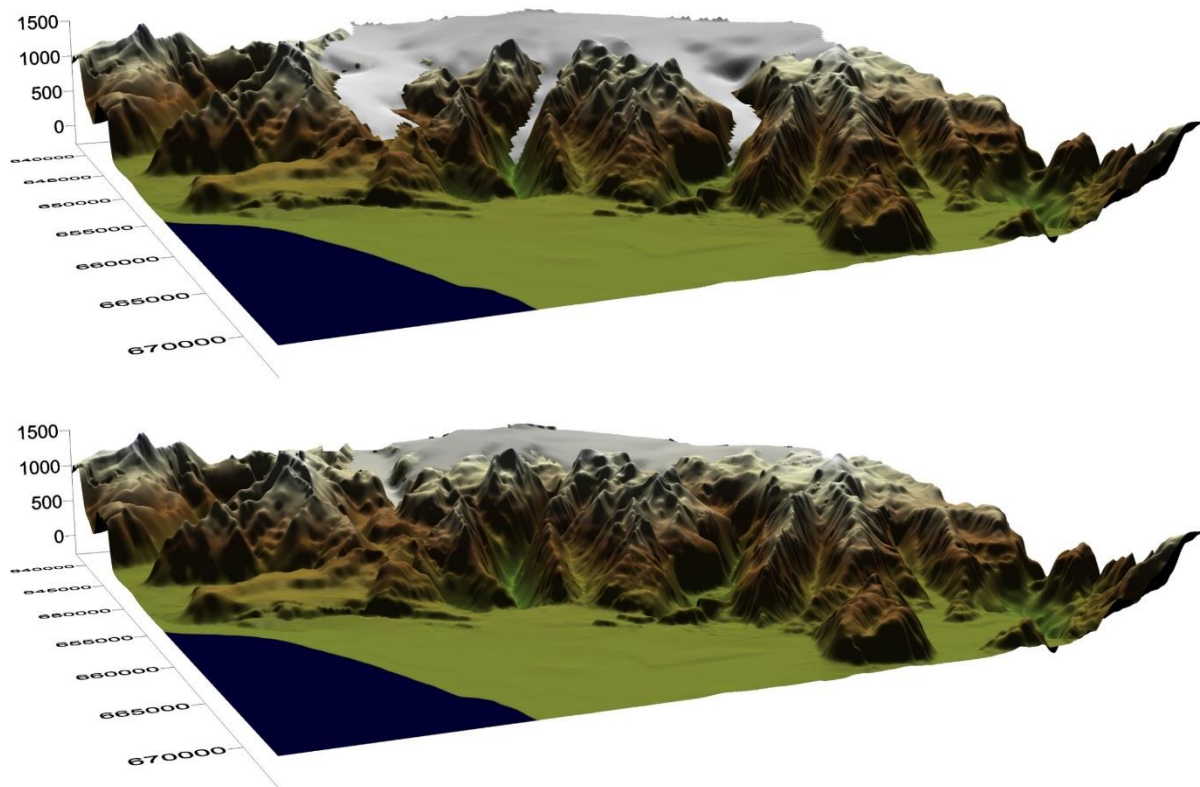


Mynd 34. Horft yfir Morsárdal, Morsárjökul og Skaftafellsjökul. Á milli jöklanna eru Skaftafellsheiði, Kristínartindar og Skarðatindur. Mikið berghlaup féll á Morsárjökul í mars 2007, eitt hið stærsta á Íslandi í áratugi. Ljósmynd: Snævarr Guðmundsson. Birtist í Hrafnhildur Hannesdóttir og Snorri Baldursson, 2017.

Jöklalíkön benda til þess að innan 200 ára verði Vatnajökull horfinn að mestu og aðeins jöklar á hæstu fjöllum, Örafajökli og Bárðarbungu, en einnig fjallendinu milli Grímsvatna, Bárðarbungu og Kverkfjalla. Vatnajökull gæti misst um 25% af núverandi rúmmáli sínu á næstu 50 árum. Samhliða því myndi afrennsli aukast og haldast umtalsvert meira en nú er, þar til vatnsforðabúr jökulsins hefur tæmst að mestu. Líkanreikningar sem gerðir hafa verið fyrir Hofsjökul, Langjökul og sunnanverðan Vatnajökul gera ráð fyrir að afrennsli muni aukast á næstu 50 árum vegna aukinnar leysingar, haldast hátt í nokkra áratugi, en eftir um 100 ár verða jökulár mun vatnsminni. Þessar afrennslisbreytingar hafa áhrif á hönnunar- og rekstrarforsendur vatnsaflsvirkjana og ýmissa annarra innviða.



Mynd 35. Líkanreikningar fyrir þróun Vatnajökuls 1) 1°C hækkun/öld b) 2°C hækkun/öld c) 3°C hækkun/öld og d) 4°C hækkun/öld. Rautt=100 ára líkankeyrsla, brútt=150 ára líkankeyrsla, hvítt=200 ára líkankeyrsla. Heimild: Gwenn Flowers o.fl., 2005. Endurgerð birt í Baldursson o.fl., 2018.



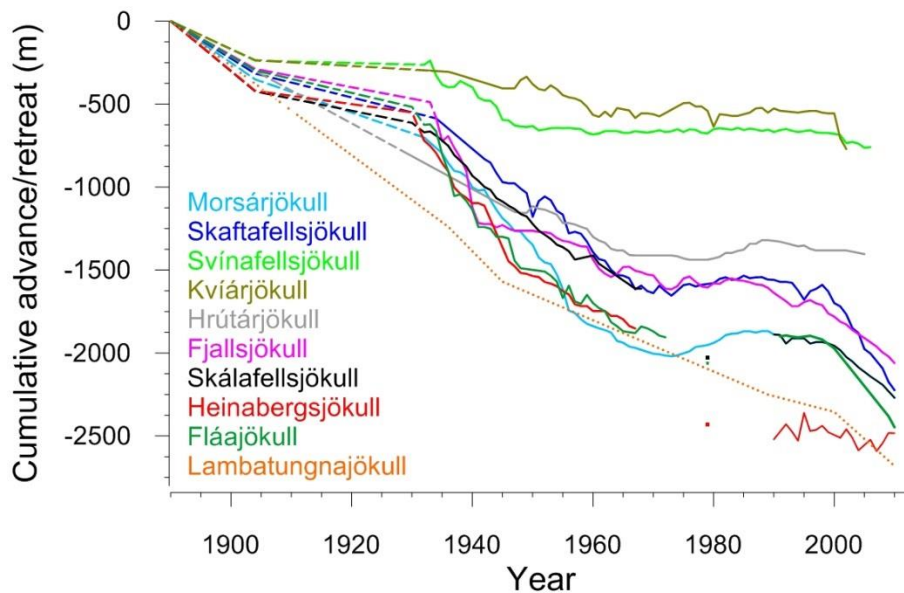
Mynd 36. Yfirborð Skálafellsjökuls, Heinabergsjökuls og Fláajökuls samkvæmt líkanreikningum ef hitastig væri 2°C hærri (efri mynd) en meðaltal árunna 1980–2000 (viðmiðunaráratugir þegar flestir jöklar á Íslandi voru í jafnvægi) eða 3°C hærri (neðri mynd). Mynd frá Hrafnhildi Hannesdóttur (óbirt gögn).

3.2.3 Sporðamælingar

Sporðamælingar hafa víða staðið óslitið síðan 1930 en þá hóf Jón Eyþórsson veðurfræðingur að mæla skipulega jökulsporða víðs vegar á Íslandi. Þeim mælingum hefur verið haldið áfram fram á þennan dag á vegum sjálfboðaliða Jöklarannsóknafélags Íslands. Mælingar hvers árs hafa birst í tímaritinu Jökli og eru þær merkileg heimild um jöklabreytingar á landinu í hartnær öld. Mælingarnar lýsa hörfun, framgangi og í sumum tilvikum framhlaupum stærstu skriðjökla landsins og fjölmarga þeirra minni. Mælingarnar eru afhentar í alþjóðlega gagnasafnið World Glacier Monitoring Service um breytingar jökla víðs vegar um heim. Sjálfboðaliðar félagsins fylgjast með breytingum 50 jökulsporða á 64 mælistöðum. Útbúinn hefur verið sérstakur sporðamælingavefur þar sem hægt er að nálgast allar mælingar frá upphafi og skoða staðsetningu mælistaða (spordakost.jorfi.is). Á vefnum er hægt að nálgast upplýsingar um það hverjir sinna mælingunum, nýjar og gamlar ljósmyndir af jökluum, línurit og frumgögn, auk þess árlegar skýrslur um mælingarnar.

Þessar mælingar eru mikilvægt framlag til vöktunar á umhverfisbreytingum sem nú eiga sér stað vegna hlýnandi loftslags og eru gott dæmi um hvernig almenningur getur lagt til upplýsingar í þágu vísinda og vöktunar á náttúru landsins. Bæði einstaklingar og nemendur hafa tekið að sér mælingar á jökulsporðum en með hörfun jökulsporða og myndun lóna framan við þá versnar aðgengi fótgangandi manna að jökluum og þar á meðal mælingamanna. Síðan 1990 hefur árlega verið farið í námsferð í jarðfræðiáfangi á vegum Framhaldsskólans í Austur-Skaftafellssýslu og skriðjökla mældir. Haustið 2016 hófust mælingar við vestanverðan Fláajökul í samvinnu við Náttúrustofu Suðausturlands. GPS punktar jökuljaðarsins eru færðir inná gervitunglamynd í landupplýsingaforriti og þannig fæst

nákvæm mynd af jaðri jökulsins hverju sinni. Upplýsingar um jöklamælingar FAS má finna á vefslóðinni <https://nattura.fas.is/index.php/joklamaelingar>.



Mynd 37. Breytingar á stöðu jökulsporða nokkurra suðurskriðjökla Vatnajökuls miðað við stöðu þeirra ca 1890, mældar af sjálfboðaliðum Jöklarannsóknafélags Íslands. Mynd frá Hrafnhildi Hannesdóttur o.fl. 2015.

Heimildir:

Jóhann Ísak Pétursson og Jón Gauti Jónsson: Almenn jarðfræði, IÐNÚ 2004

Mynd 6 - David J. Evans. 2016. Vatnajökull National Park (South Region) - Guide to a glacial landscape legacy.

(Af hverju er ísinn blár) - Klaus Kretzer: Íssýnir, Sjórnarsker. 2010

<https://nattura.fas.is/index.php/joklamaelingar>

Helgi Björnsson, Jöklar á Íslandi

Vatnajökulsþjóðgarður 2017. Lífandi kennslustofa í loftslagsbreytingum. Fræðslubæklingur.

(http://brunnur.vedur.is/pub/visindanefnd/Visindanefndarskyrsla_Haupplausn.pdf bls 89)

Oddur Sigurðsson. „Hvernig breytist snjór í jökulis?“ Vísindavefurinn, 16. október 2014. Sótt 22. júní 2017.

<http://visindavefur.is/svar.php?id=55980>.

Ólafur Ingólfsson. „Hvernig myndast jöklar?“ Vísindavefurinn, 25. mars 2008. Sótt 22. júní 2017. <http://visindavefur.is/svar.php?id=7251>.

<http://spordakost.jorfi.is/spordamaelingar.shtml?lang=eng>

Hrafnhildur Hannesdóttir o.fl. 2015. Changes in the southeast Vatnajökull ice cap, Iceland, between ca 1890 and 2010. *The Cryosphere* 9:565-585.

Þorsteinn Sæmundsson o.fl. 2011. Bergflóðið sem féll á Morsárjökull 20. mars 2007 - hverjar hafa afleiðingar þess orðið?

Náttúrufræðingurinn 81 (3-4), bls. 131-141.

Af hverju eru jöklar og ís á jörðinni? Spurningar af vísindavefnum um jökla og loftslagsmál. Helgi Björnsson, Þórarinn Már Baldursson myndskreytti. Mál og Menning, Reykjavík 2015.

Gwenn Flowers o.fl. 2005. Sensitivity of Vatnajökull ice cap hydrology and dynamics to climate warming over the next 2 centuries. *J. Geophys. Res.* 110

Evans o.fl. 2017. Skaftafellsjökull, Iceland: glacial geomorphology recording glacier recession since the Little Ice Age. *Journal of Maps* 3:2, 358-368.

Eyjólfur Magnússon o.fl. 2012. Removing the ice cap of Öræfajökull central volcano, SE-Iceland: Mapping and interpretation of bedrock topography, ice volumes, subglacial troughs and implications for hazards assessments. *Jökull* 62:131-150.

Tómas Jóhannesson, o.fl. 2007. Effect of climate change on hydrology and hydro-resources in Iceland. Report OS-2007/011. Orkustofnun, Reykjavík.

Snorri Baldursson o.fl. 2018. Nomination of Vatnajökull National Park dynamic nature of fire and ice for inclusion in the World Heritage List. Vatnajökull National Park, Reykjavík.

Helgi Björnsson o.fl. 2003. Glaciers surges in Iceland. *Annals of Glaciology* 36:82-90.

Finnur Pálsson, o.fl. 2016. Vatnajökull: mass balance, meltwater drainage and surface velocity of the glacial year 2015-16. Institute of Earth Sciences University of Iceland and the National power company. RH-14-2016.

Sigurður Þórarinnsson. 1974. Sambúð lands og lýðs í ellefu aldir. In *Saga Íslands*, 1. bindi, ed. S Líndal, 29-97. Reykjavík: Sögufélagið.

Daði Björnsson, 2015. Heildarstærð jökla á Íslandi 2014. Loftmyndir ehf., minnisblað dags. í mars. 2015.

Snævarr Guðmundsson. 2014. Reconstruction of late 19th century geometry of Kotárjökull and Breiðamerkurjökull in SE-Iceland and comparison with the present. MS ritgerð, Háskóli Íslands.

3.3 Landris

Þegar jöklar stækka og ganga fram auka þeir fargið á jarðskorpuna og sjávarborð færir ofar í landið, þess vegna má finna strandlínur og skeljar í tugi metra hæð yfir sjávarmáli frá lokum síðasta jökulskeiðs. Á litlu ísöld stækkuðu jöklar landsins og aukinn jökulmassi jók fargið á jarðskorpuna. Við rýrnun jökla á 20. öld hefur fargið minnkað á jarðskorpuna og landið rís. Þyngd Vatnajökuls er um 3000 milljónir tonna og frá lokum 19. aldar (hámarki litlu ísaldar) hefur jökullinn tapað um 10% af rúmmáli sínu.

Gervitunglagögn og GPS mælingar sýna hvernig víðtæk breyting á hreyfingum jarðskorpunnar á sér stað í nágrenni Vatnajökuls. Landris er mest næst jökuljaðrinum og á jökulskerjum en minna fjær honum. Nákvæmar GPS-landmælingar hafa nú sýnt hvernig víðtækt landris er umhverfis helstu jökla landsins og á miðhálandinu öllu sem tengja má við flotjafnvægisbreytingar vegna jöklaþynningarinnar. Hvannadalshnúkur hækkar því á hverju ári og aðstæður breytast við suðausturströnd landsins, meðal annars á Breiðamerkursandi og við Höfn í Hornafirði.

GPS mælitæki eru staðsett á mörgum stöðum umhverfis jökulinn og einnig á Grímsfjalli og eru tímabundið sett upp tæki á skerjum og fjöllum í mælingaferðum Veðurstofu Íslands og Jarðvísindastofnunar Háskólans. Bæði lóðréttar og láréttar hreyfingar jarðskorpunnar hafa verið kortlagðar með GPS-mælingum og er landfærsla við jaðar Vatnajökuls um 3–4 mm á ári en landris er mjög breytilegt eftir nálægð við jökulinn. Á mælistöð í Jökulheimum við vesturjaðar Vatnajökuls mælist landris um 40 mm/ári en um 15 mm/ári á Höfn í Hornafirði. Ef Vatnajökull hyrfi allur myndi landris nema um 100 m undir miðju jökulsins og um 50 m við jaðrana á lengri tímabili.

Þessar jarðskorpuhreyfingar eru hluti af flotjafnvægisbreyfingum, sem birtast í því að mismunandi hlutar lands ýmist lyftast eða síga á sama tíma. Í einfaldaðri útgáfu má líkja þessum hreyfingum við það að leggjast á koddanum - þar sem höfuðið hvílir á koddanum þjappast koddinn saman undan þunganum en um leið lyftist koddinn til hliðanna. Þegar höfðinu er lyft af koddanum jafnast yfirborð koddans út, hluti hans sem var undir höfðinu lyftist upp og hliðar hans síga aftur niður.

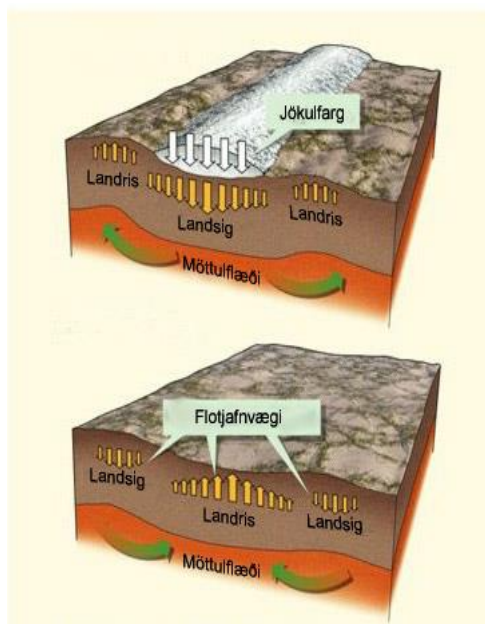


Figure 38. Jökulfarg ýtir jarðskorpuni niður í möttulinn. Þegar jöklar þynnast og hörfa minnkar fargið á jarðskorpuna og landrið rís, við það að möttulefnið leitar jafnvægis og flæðir tilbaka.. Heimild: <http://www.loftslag.is/?p=6738>.

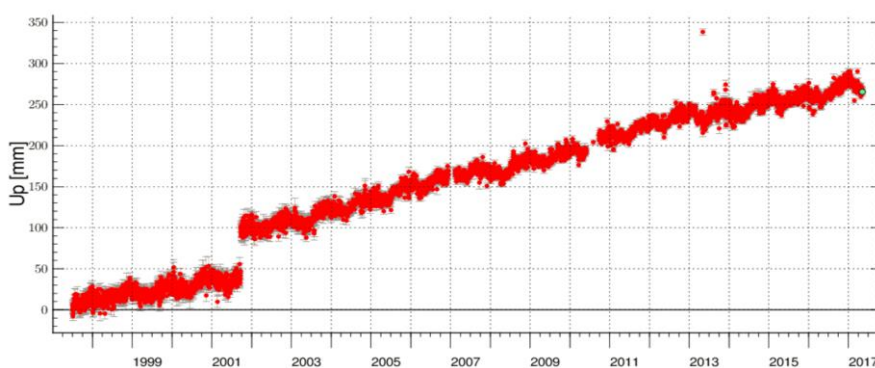
Landmælingar Íslands hafa frá árinu 1998 mælt landris í Hornafirði og er GPS mælistöð Hafnar staðsett á Fjárhúsahól rétt innan bæjarmarka. Þetta er lengsta samfellda mæling sem til er á landrisi og landfærslu á Íslandi og eru niðurstöðurnar birtar í rauntíma á eftirfarandi slóð:
<http://brunnur.vedur.is/pub/gps/timeseries/HOFN-plate-full.png>.

Rýrnun Vatnajökuls veldur ekki aðeins tilfærslu á efni í jarðskorpu og möttli. Einnig verða breytingar á kröftum og spennum sem geta valdið breytingum á eldvirkni undir jöklinum. Þrýstiléttirinn hefur ekki aðeins áhrif á flutning kviku í jarðmöttlinum heldur getur einnig myndast ný kvika sem getur leitt til aukinnar gosvirkni. Þessara áhrifa gætir jafnvel nú þegar í aukinni virkni Grímsvatna, Bárðarbungu, Örafajökli og Kverkfjöllum í Vatnajökli. Þetta getur þýtt aukna hættu á jökulhlaupum til suðurs, vestur og norðurs sem ógnar íbúum og mannvirkjum.

Í gegnum tíðina hafa breytingar á landinu verið auðsýnilegar íbúum við Hornafjörð. Óvissa er um framtíð siglinga um Hornafjarðarós vegna landrissins en hækkandi sjávarborð af völdum hlýnandi loftslags og bráðnunar jökla vegur að vissu marki á móti landrisinu.

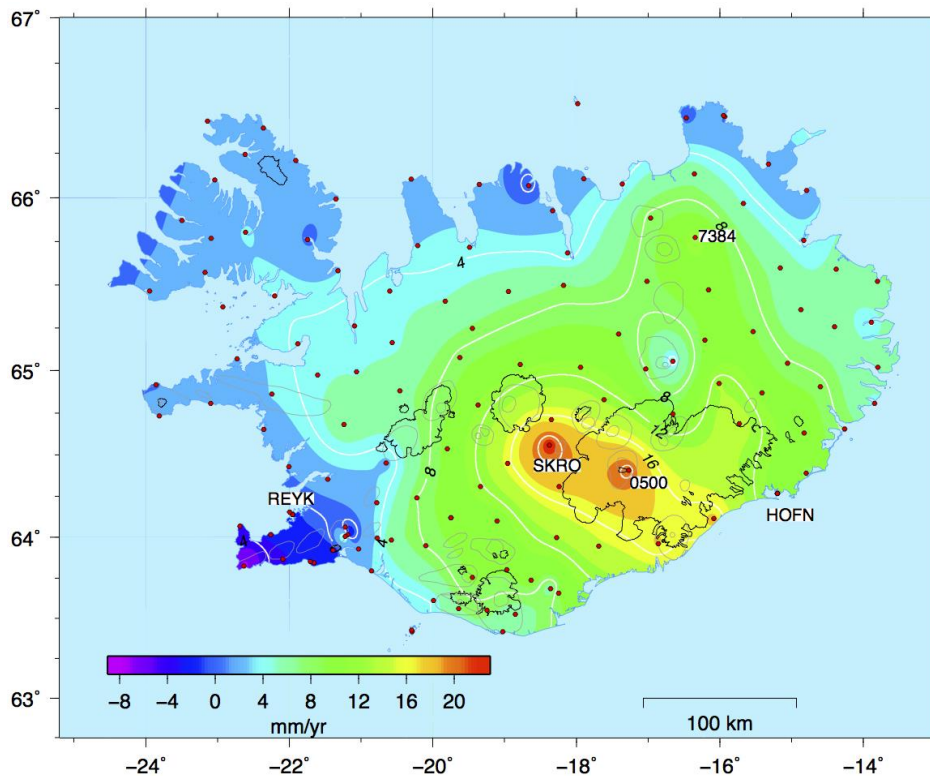
. Síðustu áratugi eru sjáanleg ummerki landriss meðal annars eftirfarandi:

- Frá árinu 1910 til ársins 1954 var lóðsbátur Hornfirðinga staðsettur inni í Hornafirði. Í fyrstu í Lækjarnesi, við austurenda Hornafjarðarflugvallar. Þegar á leið og orðið erfiðara að sigla að Lækjarnesi var báturinn hafður við Dilksnesskjól og róið í bátinn þaðan frá Lækjarnesi. Frá 1954 hefur lóðsbáturinn verið staðsettur við bryggjuna á Höfn þar sem fjörðurinn hefur grynnað mikið vegna landriss.
- Árið 1912 var nýr kirkjugarður tekinn í notkun við bakka Laxár í Nesjum í stað gamla kirkjugarðsins í Bjarnanesi, sem nú er kominn aftur í notkun síðan um 1980. Á 19. öld var orðið verulegum vandkvæðum bundið að nota garðinn því grunnvatnsstaðan var svo há. Þegar grafir voru teknar stóð vatn upp í þeim og þurfti að þyngja kisturnar til að þær myndu sökkva.
- Norðan hesthúsanna í Nesjum voru „botnlausar“ og ófærar mýratjarnir sem kallast Rot en nú eru Rotin orðin þurr, grasi vaxin og nýtanleg og fara ekki undir vatn nema í miklum vatnavöxtum.
- Í jökulruðningum framan við Hoffellsjökul hafa fundist ýmis ummerki um sjávarlíf svo sem skeljar og rostungatennur sem benda til að sjór hafi náð þangað upp á síðasta kuldaskiði. Lífrænu leifarnar hafa verið aldursgreindar og eru um 7000 ára gamlar.
- Margar eyjar eru nú í Hornafirði en ef gamlar myndir eru skoðaðar sjást þær ekki nema á háfjöru sem lítil sker. Nú eru flestar eyjarnar grasigrónar og í mörgum þeirra æðarvarp. Jafnvel er hægt að ganga yfir í sumar þeirra næst landi á háfjöru og liggur vatnið í firðinum þá í nokkrum álum.



Mynd 39. Landris á Hornafirði 1998–2017 mælt með GPS mælitækjum í mm.

Heimild: <http://brunnur.vedur.is/pub/gps/timeseries/HOFN-plate-full.png>



Mynd 40. Lóðréttar færslur (landris) á Íslandi 1999–2004. Heimild: Þóra Árnadóttir o.fl. 2009.

Heimildir:

<https://www.visindavefur.is/svar.php?id=2208>

<https://www.visindavefur.is/svar.php?id=70819>

Páll Imsland: „Landsig og landris í Hornafirði. Jöklaveröld, Náttúra og Mannlíf. Skrudda, 2004

Arnþór Gunnarsson: Saga Hafnar, síðara bindi. Sveitarfélagið Hornafjörður, 2000.

Vatnajökulsþjóðgarður, 2017. Lifandi kennslustofa í loftslagsbreytingum. Fræðslubæklingur.

Þóra Árnadóttir o.fl. 2009. Glacial rebound and plate spreading: Results from the first countrywide GPS observations in Iceland, *Geophys. J. Int.*, 177(2), 691-716.

Peter Schmidt et al., 2013. Effects of present-day deglaciation in Iceland on mantle melt production rates, *Journal of Geophys. Research, Solid Earth*, 118, 3366–3379.

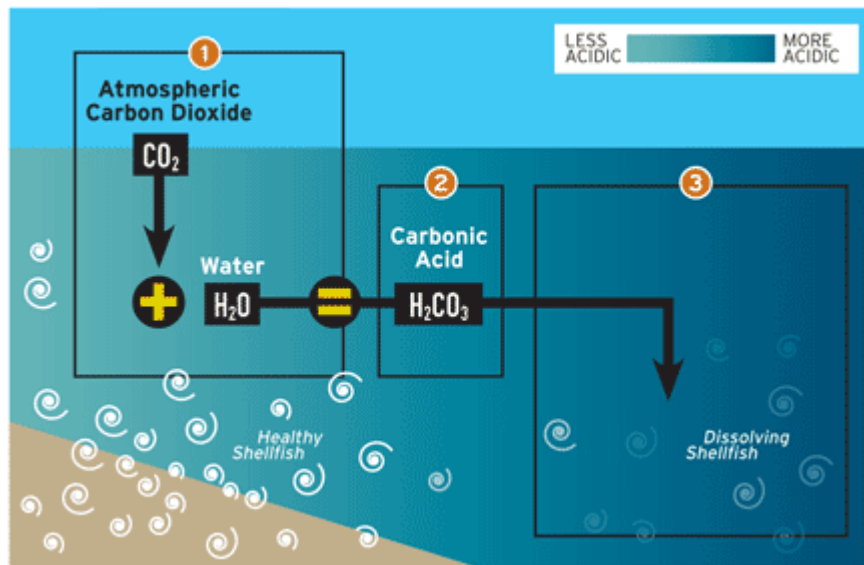
3.4 Hafið

Hafið er stærsta vistkerfi jarðarinnar og myndar helming þess súrefnis sem er í andrúmsloftinu. Hafið er leiðandi í hringrás kolefnis en aukin losun gróðurhúsalofttegunda af mannavöldum hefur truflað þá hringrás. Meira en 97% alls vatns jarðarinnar er í höfunum.

3.4.1 Súrnun sjávar

Hafið dregur í sig koltvísýring (CO_2) úr andrúmsloftinu og aukinn styrkur þess í lofthjúpin leiðir því til sambærilegrar aukningar í sjónum. Þar verða efnahvörf sem á endanum leiða til þess að hafið súrnar og minna verður af uppleystum kalksamböndum í sjónum. Súrnun sjávar er sérstaklega slæm fyrir lífverur sem hafa stoðgrind úr kalki, svo sem samlokur, mörg lindýr og kóralla. Haldi súrnun sjávar áfram er hætt við hnignun lífs í sjónum, útdauða lífvera og jafnvel hruni vistkerfa. Við núverandi losun koltvísýrings er talið að súrnun sjávar verði farin að nálgast hættumörk árið 2030. Svo virðist sem súrnun sjávar í kringum Ísland sé meiri en víða annars staðar m.a. vegna legu landsins

og samspils hafstrauma. Síðustu 300 milljón ára hefur pH gildi sjósins verið örlítið basískt, að meðaltali um 8,2. En síðan 1750 hafa heimshöfin súrnað um 0,1 sýrustig.



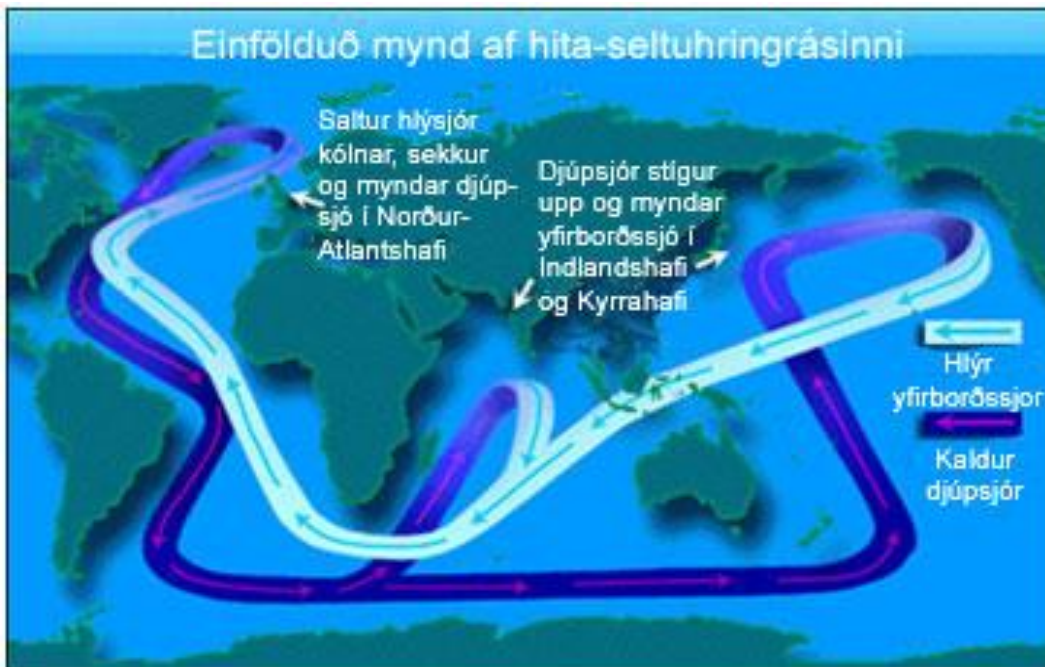
Mynd 41. Súrnun sjávar. Vegna aukningar CO₂ í andrúmsloftinu gleypir sjórinn aukið magn CO₂ og við það verða efnaskipti sem lækka pH gildi og kalkmettun sjávarins. Afleiðingar súrnunarinnar eru aðallega þær að harðskelja sjávarlífverur missa smám saman getuna til að mynda skeljar. Heimild: http://seattlema.com/sites/default/files/newfiles/article/Mar2011/0311_water_graphic.gif

3.4.2 Hlýnun sjávar

Hlýnun hafsins er mest við yfirborðið og hafa efstu 70 m þess hitnað um u.þ.b. 0,11°C á áratug síðan 1971. En síðan 1990 hefur orðið vart við hækkandi hitastig sjávar allt niður á 700 m dýpi. Hlýnunin breytir eðliseiginleikum hafsins og dregur úr blöndun þess. Næringarefni, sem eru mest á botni og í botnlögum, ná þá síður að berast upp í yfirborðið þar sem sólar nýtur og ljóstillífun plöntusvifsins fer fram, og súrefni á ekki eins greiða leið í neðri lög sjávar. Minni frumframleiðni plöntusvifsins hefur áhrif á alla fæðukeðjuna. Þá eru einnig vísbendingar um að lífverur færi sig til í sjónum til að vera sem næst kjörhitasvæði sínu. Kolmuni og makrill eru til dæmis í dag algengar tegundir við Ísland en þær sáust varla fyrir fáeinum áratugum.

Við aukningu gróðurhúsalofttegunda geta lífsskilyrði í sjó líka breyst vegna breytinga á sjávarstraumum. Styrkur hita- og seltuhringrásarinnar í Norður-Atlantshafi er breytilegur eftir veðurfari og árstíðum. Talið er mjög líklegt að hægi á hringrás hafstrauma í Atlantshafi á 21. öld en afar ólíklegt að stórfelldar og snöggar breytingar verði, s.s. að Golfstraumurinn stöðvist alveg. Breytingar á straumakerfi hafa áhrif á framleiðni vistkerfa í hafinu, fiskveiðar og upptöku kolefnis úr andrúmslofti.

Sólarorkan við yfirborð jarðar dreifist með aðstoð loft- og hafstrauma. Loftstraumar eru knúðir áfram af hitamun milli svæða og þeir toga yfirborð sjávar með sér. Stefna hafstraumanna ræðst af hitamun, eðlismassadreifingu, vindakerfum, snúningi jarðar og dýpt og lögun sjávarbotns. Hitastigs- og seltubreytingar vegna uppgufunar eða úrkomu breyta eðlismassa sjávar og koma af stað straumum, eins og Golfstraumnum, sem flytur meira vatna en allar ár í heiminum samanlagt. Golfstraumurinn flytur hlýjan, saltan sjó frá miðbaug norður í Atlantshaf þar sem varmi sjávarins hitar upp andrúmsloftið. Við það kólnar sjórinn, eðlismassi hans eykst svo hann sekkur og verður djúpsjór. Labradorstraumurinn flytur kaldan djúpsjó aftur suður á bóginn.



Mynd 42. Hita-sletuhringrás heimshafanna. Heimild: <http://visindavefur.is/svar.php?id=6372>.

3.4.3 Hækkun sjávarborðs

Vegna bráðnunar jökla og snævar rennur meira vatn til sjávar en annars og því hækkar sjávarborð en hækkandi hitastig hefur einnig þau áhrif að vatn þenst út. Á 20. öldinni hækkaði meðalyfirborð sjávar um 18 cm. Frá 1961 hækkaði meðalsjávarborð að meðaltali um 1,8 mm á ári en síðan 1993 hefur talan farið upp í 3,1 mm árlega. Þótt styrkur gróðurhúsalofttegunda í andrúmsloftinu komist í jafnvægi er talið að sjávarborð muni halda áfram að hækka í nokkurn tíma eftir það. Samkvæmt líkanreikningum er talið að við aldarlok verði hækkun sjávarborðs vegna hlýnunar sjávar og bráðnunar jökla á bilinu 18-59 cm.

- Hækkun sjávarborðs þýðir ekki eingöngu að landsvæði og eyjar fara á kaf heldur mun það hafa afdrifaríkar afleiðingar fyrir íbúa stórborga en 8 af 10 stærstu borgum heims eru við sjávarmál.
- Eyðileggjandi flóð í kjölfar tíðari storma eru líkleg til að ná lengra inn á land en áður.
- Tjón af völdum landeyðingar við strendur verða einnig meiri með hækkandi sjávarborði.
- Í þéttbýli eru öll mannvirki sem liggja lágt í landinu í hættu vegna hækkandi yfirborðs sjávar, svo sem gatnakerfi og samgöngur, vatnsbirgðir, jarðefnaborholur, brunnar, virkjanir, fráveitukerfi og fleiri.

Sjávarstaða í nágrenni jökla ræðst bæði af hækkun sjávarborðs og af landrasi vegna fargléttingar sem verður við bráðnun jöklanna. Spár gera ráð fyrir því að sjór muni ganga á land á láglandum svæðum á Íslandi, til dæmis suðvestanlands, en að landrasið á suðausturlandi muni vege upp á móti sjávarborðshækkuninni. Á Höfn í Hornafirði er talið líklegt að landrasið verði meira en sem nemur hækkun sjávarborðs.

Heimildir:

<https://marine-conservation.org/what-we-do/advocate/why-we-protect-our-oceans/>

<https://plastmengun.wixsite.com/plastmengun/copy-of-oerplast-i-skolpi>

<https://marine-conservation.org/what-we-do/program-areas/climate-change/climate-carbon/>

<https://marine-conservation.org/what-we-do/program-areas/climate-change/>

http://wwf.panda.org/about_our_earth/blue_planet/open_ocean/ocean_importance/

Heimildaskrá fyrir súrmun sjávar:

http://www.loftslag.is/?page_id=476 (sótt 8.02.2017)

<https://www.visindavefur.is/svar.php?id=4922> (sótt 27.02.2017)

http://www.climate.rocksea.org/images/climate/ocean_warming_phytoplankton_decline.jpg (sótt 27.02.2017)

https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf

<https://www.ust.is/einstaklingar/loftslagsbreytingar/ahrif-a-jordina/>

Freysteinn Sigmundsson og Helgi Björnsson. „Hve mikið hækkar sjávarstaða við suðausturströnd Íslands á næstu 20 árum við bráðnun jökla á jörðinni?“ *Vísindavefurinn*, 13. apríl 2011. Sótt 5. júní 2017. <http://visindavefur.is/svar.php?id=58733>

<http://oceanservice.noaa.gov/facts/sealevel.html>

http://jardvis.hi.is/joklar_islandi

Jón Ólafsson. „Hvað eru hafstraumar?“ *Vísindavefurinn*, 10. nóvember 2006. Sótt 4. júní 2017. <http://visindavefur.is/svar.php?id=6372>

Rannveig Magnúsdóttir. „Hvaða áhrif hefði það á loftslag í heiminum ef allir regnskógar jarðarinnar eyddust?“ *Vísindavefurinn*, 6. febrúar 2012. Sótt 4. júní 2017. <http://visindavefur.is/svar.php?id=57417> .

Jón Ólafsson. „Hvað eru hafstraumar?“ *Vísindavefurinn*, 10. nóvember 2006. Sótt 4. júní 2017. <http://visindavefur.is/svar.php?id=6372>

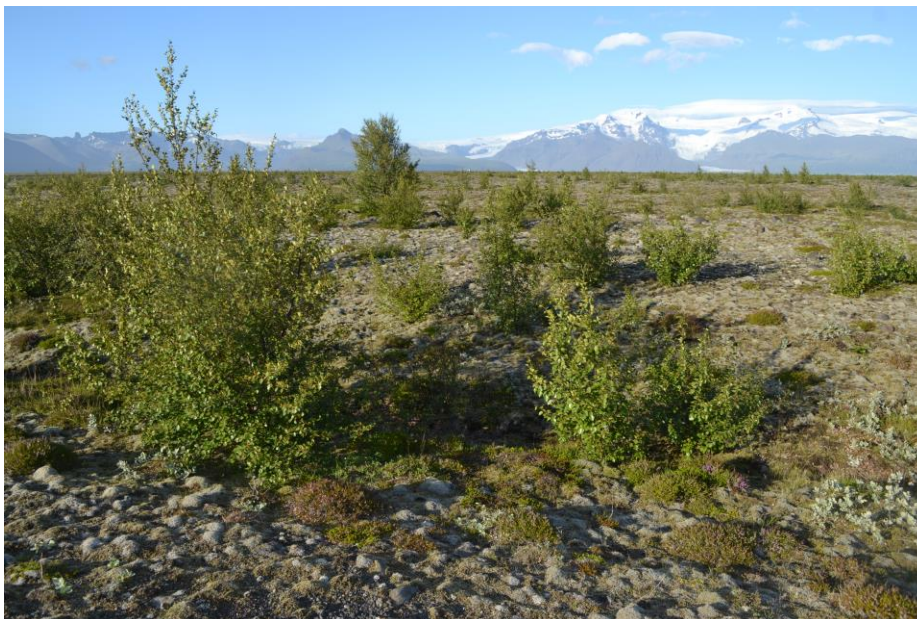
https://www.umhverfisraduneyti.is/media/PDF_skrar/visindanefndloftslagsbreytingar.pdf

<https://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/page5.php>

<https://www.theguardian.com/environment/climate-consensus-97-per-cent/2017/mar/10/earths-oceans-are-warming-13-faster-than-thought-and-accelerating>

3.5 Gróðurfar

Tvær ólíkar kenningar eru uppi varðandi landnám gróðurs á Íslandi eftir að ísöld lauk. Um miðja 20. öld voru margir grasafræðingar á þeirri skoðun að ýmsar plöntutegundir hefðu lifað af síðasta kuldaskiði ísaldar, hjarð sem þínulitlir stofnar á stöku jökulskerjum eða annesjum sem stóðu upp úr ísbreiðunni. En nýlegar rannsóknir benda til þess að þær plöntutegundir sem nú lifa á Íslandi eigi sér ekki langa sögu, heldur hafi þær borist hingað eftir að síðasta kuldaskiði lauk. Gróður hefur þá borist til landsins með hafstraumum, fuglum og/eða vindi. Núverandi flóra Íslands hefur að mestu komið frá Skandinavíu og Skotlandi.



Mynd 43. Birkiplöntur á Skeiðarársandi. Ljósmynd: Bændablaðið

Veðurfarsþættir (hiti, úrkoma og vindafar) hafa mikil áhrif á lífsskilyrði plantna og þar með á gróðurfar landsins. Áhrif loftslagshlýnunar undanfarinna áratuga eru nú greinileg í gróðurfari landsins:

- Framleiðni gróðurs hefur aukist, bæði vegna aukins vaxtar hverrar plöntu og aukinnar útbreiðslu þeirra.
- Skógarmörk birkis eru að færast ofar í landið en áður var og gera má ráð fyrir að fyrir hverja 1°C sem meðalhiti sumars og hausts hækkar færast mörkin ofar um 150 m.
- Áhrif loftslagsbreytinga í landbúnaði birtast í aukinni uppskeru á þeim fódur- og matjurtum sem nú eru ræktaðar auk þess sem nýjar nytjategundir bætist við.
- Aðstæður til skógræktar og landgræðslu hafa batnað verulega en hlýindi á vetrum hafa þó valdið skemmdum á trjágróðri og gert meindýrum sem valda skaða fært að lifa veturinn af.
- Eðli hinna mismunandi tegunda gerir það að verkum að þær þrífast ýmist betur eða verr við breyttar aðstæður. Líklegt er að hánorrænar plöntur sem eiga sitt kjörlendi í köldu loftslagi hopi og jafnvel hverfi úr flóru landsins haldi áfram að hlýna. Meðal þessara tegunda eru t.d. fjallabláklukka, fjallavorblóm og jöklasóley. Þá er líklegt að suðlægari plöntutegundir sem hingað til hafa aðeins þrífist í ræktuðu umhverfi taki að nema ný lönd í villtri náttúru og að sumar þeirra geta orðið ágengar.

Þegar jöklar hopa og þynnast kemur lífvana land í ljós fyrir framan sporðana og við lakkandi jökuljaðarinn á jökulskerjum sem standa upp úr jöklinum. Næst jökuljaðrinum nema örfáar frumherjategundir land í fyrstu en þegar fjær dregur fjölgar tegundum og lífverusamfélögin verða sífellt flóknari. Við hörfandi jökla er einstakt tækifæri til að fylgjast með landnámi lífvera og framvindu lífsamfélaga með tíma. Margvíslegar líffræðirannsóknir hafa verið stundaðar á þessu sviði og má nefna landnám og framvindu birkiskóga á Skeiðarársandi, þróun lífs í tjörnum framan við Skaftafellsjökul, myndun jarðvegs framan jökulsporða og landnám skordýra á jökulskerjum Breiðamerkurjökuls. Um 30 km² stór birkiskógur er að myndast á Skeiðarársandi og horfir í að fyrir miðja þessa öld verði þar um að ræða stærsta villta birkiskóg landsins.

Nemendur og kennarar Framhaldsskólans í Austur-Skaftafellssýslu hafa rannsakað gróðurframvindu á ákveðnu svæði sem er vitjað um árlega. Hæsta birkiplantan sem nemendur hafa séð á sandinum mældist um 3 m haustið 2016 en sú planta er þó utan reitanna sem tilheyra skólanum. Upplýsingar um verkefnið skólans er hægt að finna á <https://nattura.fas.is/index.php/skeidararsandur>

Farvegir jökuláa eru síbreytilegir en við hop jöklanna færa þær sig til eða hverfa alveg. Þegar árnar hverfa hefur það áhrif á rakastig jökulauranna sem aftur breytir kjörlendi plantna á þann veg að rakasæknar tegundir hopa. Þær ár sem skapa sér nýjan farveg eyða svo gróðri sem fyrir var á því landssvæði. Rofmáttur jökuláa vegna aukinnar leysingar mun einnig aukast fyrst í stað og aukið vatnsrennsli og aurburður getur eytt beitalandi og öðru grónu landi.

Árið 1997 byrjaði eyja í Jökulsárlóni að koma í ljós og var hún orðin jökullaus árið 2000. Eyjan fékk heitið Skúmey og þar er nú fylgst grannt með framgangi flóru og fuglalífs í verkefni sem meðal annars er unnið af Náttúrustofu Suðausturlands. Fjölbreyttur gróður hefur nú þegar numið land í eyinni, allt frá skófum og fléttum sem jafnan eru fyrstu landnemarnir, og þar er nú að finna stærsta varp helsingja hér á landi, 967 hreiður sumarið 2017.



Mynd 44. Gróður í Skúmey vorið 2017.
Ljósmynd: Snævarr Guðmundsson.

Heimildir

Halldór Björnsson, o.fl.. 2008. Hnattrænar loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi – (Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar). Reykjavík: Umhverfisstofnun.

<http://www.vedur.is/loftslag/loftslagsbreytingar/liklegar/>

<https://nattura.fas.is/index.php/skeidararsandur>

https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf

Helgi Björnsson og Þórarinn Már Baldursson. 2015. Af hverju eru jökla og ís á jörðinni? Spurningar af vísindavefnum um jökla og loftslagsmál. Mál og Menning, Reykjavík.

Bryndís Marteinsdóttir o.fl.. 2007. Landnám birkis (*Betula pubescens*) á Skeiðarársandi. Náttúrufræðingurinn 75: 123–129.

Olga K. Vilmundardóttir o.fl. 2015. Between ice and ocean; soil development along an age chronosequence formed by the retreating Breiðamerkurjökull glacier, SE-Iceland. *Geoderma* 259–260: 310–320.

3.6 Dýralíf

Breytingar á loftslagi hafa víðtæk áhrif á búsetuskilyrði dýra, meðal annars vegna breytinga á útbreiðslu og vaxtarskilyrðum plantna, sem þau nærast á, blómstrun þeirra og aldinþroska. Skordýr og fuglsungar eru sem dæmi oft mjög háð ákveðinni fæðutegund á tilteknu þroskastigi og sé fæðan ekki í fasa við þroska dýranna getur illa farið.

Mörg land-, ferskvatns- og sjávardýr hafa aðlagð útbreiðslusvæði sitt, farhætti, árstíðabundnar athafnir og samskipti við önnur dýr vegna loftslagsbreytinga. Algengt er að útbreiðslusvæði dýra hafi færst nær heimskautasvæðunum eða ofar í fjalllendi en áður vegna breyttra búsetuskilyrða. Auk hækkandi hitastigs hafa breytingar á íspekju, seltu, súrefnismagni og straumhringrás mikil áhrif á vistkerfi sjávar og ferskvatns.

Heimildir:

https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf

<http://www.vedur.is/loftslag/loftslagsbreytingar/afleiðingar/>

3.6.1 Sjávardýr

Sveiflur í sjávarhita og sjógerð hafa haft mikil áhrif á frumframleiðni, afrakstur og lífsskilyrði nytjastofna Íslands. Áhrif veðurfars á ástand sjávar, það er hita og seltu í sjónum, ræður miklu um framvindu og vaxtarskilyrði plöntusvifs og átu í sjónum og þar með aðra hlekki fæðukeðjunnar. Greinileg breyting hefur orðið á útbreiðslu og stærð nytjastofna á Íslandsmiðum síðustu tvo áratugi

meðal annars vegna hlýnnunar sjávar. Þessi þróun hefur jákvæð áhrif á útbreiðslu og framleiðni fiskistofna af suðlægum uppruna, svo sem skötusels (*Lophius piscatorius*), ufsa (*Pollachius virens*) og makríls (*Scomber scombrus*), en neikvæð áhrif á útbreiðslusvæði og framleiðni norrænna tegunda, eins og loðnu (*Mallotus villosus*), grálúðu (*Reinhardtius hippoglossoides*) og rækju (*Pandalus borealis*). Talið er að sjórinn umhverfis Ísland sé kjörsvæði fyrir þorskind (*Gadus morhua*) og þess vegna séu sveiflur í nýliðun og stofnstærð minni hér en austar og vestar í Atlantshafi. Gera má ráð fyrir að uppvaxtarsvæði þorsksins stækki út fyrir íslenska lögsögu en þar sem vistkerfi sjávar er flókið er erfitt að spá fyrir um þetta með vissu.

Sjávarspendýr eru blóðheit dýr og eru flestar íslensku tegundirnar lífeðlisfræðilega í stakk búnar til að þola talsverðar breytingar á hita. Stórhvelin eru hins vegar mjög hreyfanleg fardýr og koma á Íslandsmið á sumrin til fæðunáms. Útbreiðsla þeirra ræðst því ekki síður af fæðuframboði á hverjum tíma. Líklega verða breytingar á útbreiðslu hvala ef breytingar verða á mikilvægustu fæðutegundum þeirra af völdum loftslagsbreytinga.

Humarinn (*Nephrops norvegicus*) lifir við austanvert Norður-Atlantshafið og eru norðurmörk útbreiðslusvæðis hans í hlýjum sjó við suðurströnd Íslands (Frá Hornafirði til Faxaflóa). Humarstofninn við Ísland er einsleitur og sterkur og hefur stækkað verulega undanfarinn áratug eftir lægð í lok síðustu aldar. Vísbendingar eru um að hækkandi hitastig sjávar komi stofninum til góða.

Heimildir
Snorri Baldursson, 2014. Lífríki Íslands.

3.6.2 Fuglar

Varpfuglum í sjófuglabyggðum við norðanvert Atlantshaf hefur fækkað verulega frá aldamótum og flestir sjófuglastofnar virðast fara minnkandi. Sjófuglastofnar eru viðkvæmir fyrir umhverfisbreytingum í hafinu við landið og sveiflur eru talsverðar í stofnum bjargfugla og varpi þeirra. Ekki er ólíklegt að frekari breytingar verði á varpstofnum margra sjófuglategunda á næstu áratugum samfara hlýnandi veðurfari. Fækkunin er þó alls ekki einhlít og mikill breytileiki er meðal sjófuglabyggða eftir landshlutum. Upp úr 2005 varð vart við miklar sveiflur í varpi annarra sjófugla en bjargfugla á Suðurlandi. Líklegt er að ástæða fækkunar í sjófuglabyggðum við suður- og vesturströndina stafi af lægð sandsílastofnsins eftir aldamótin, en sandsíli er undirstöðufæða margra sjófugla, fiska og hvala.

Stuttnefju (*Uria lomvia*) hefur fækkað hér við land allt frá miðjum 9. áratug síðustu aldar. Hjá öðrum tegundum sjófugla, svo sem langvíu (*Uria aalge*), álku (*Alca torda*), fýl (*Flumarus glacialis*) og kríu (*Sterna paradisaea*) hefur fækkunar í vörpum fyrst og fremst gætt á þessari öld. Um fjórðungs fækkun hefur mælst í lundastofninum við landið síðan mælingar hófust árið 2003, sem meðal annars er rakin til hruns í sandsílastofninum.

Um 35 nýjar fuglategundir reyndu varp og margar settust að á Íslandi á síðustu öld. Má þar nefna svartþröst (*Turdus merula*), stara (*Sturnus vulgaris*), sílamáf (*Larus fuscus*), stormmáf (*Larus canus*), brandönd (*Tadorna tadorna*) og helsingja (*Branta laucopsis*). Tíðni landnáms virðist hafa aukist eftir því sem leið á 20. öldina. Við lok 21. aldarinnar má gera ráð fyrir því að veðurskilyrði á landinu verði hagstæð fyrir um 80 nýjar tegundir varpfugla hér á landi þótt óvíst sé að þær allar nemi hér land. Aftur á móti gæti hitastig á Íslandi orðið of hátt fyrir hánorrænar tegundir, svo sem þórshana (*Phalaropus fulicarius*) og stuttnefju (*Uria lomvia*). Mildara veðurfar, einkum að vetri til, getur aukið líkur á því að

fuglar sem flækjast hingað nái fótfestu, en myndun nýrra búsvæða er einnig mikilvægur þáttur. Má í því sambandi til dæmis nefna glókoll (*Regulus regulus*) og skógarsnípu (*Scolopax rusticola*) sem nýlega hófu hér varp í ræktuðum barrskógum.

Heimildir:

https://www.umhverfisraduneyti.is/media/PDF_skrar/visindanefndloftslagsbreytingar.pdf)

<http://www.vedur.is/loftslag/loftslagsbreytingar/liklegar/>

2. Maí 2017: Kastljós, Lundinn, viðtal við Freydísi

Vígfúsdóttur https://www.umhverfisraduneyti.is/media/PDF_skrar/visindanefndloftslagsbreytingar.pdf

3.6.2 Landdýr

Með hækkandi hita batna búsetuskilyrði fyrir fleiri fugla og skordýr á landinu og hlýrri vetur auka líkurnar á að dýr sem flækjast til landsins komi upp stofni. Búast má við að skordýrategundum fjölgi mikið hér á landi á þessari öld. En ekki er talið að landspendýrum fjölgi nema fyrir tilstuðlan manna. Kanínum hefur verið sleppt úr haldi og lifa nú villtar á nokkrum stöðum á landinu. Líklegt er að þær breiðist enn meira út ef maðurinn grípur ekki til ráðstafana. Aukin framleiðni vistkerfa með hækkandi hitastigi mun að öllu óbreyttu koma sér vel fyrir hreindýr, hagamýs, mink og tófu.

Heimildir:

Snorri Baldursson, 2014. Lífríki Íslands

3.7 Mannlíf

Loftslagsbreytingar hafa á undanförunum áratugum haft áhrif á náttúru, umhverfi og samfélög um allan heim. Samfélagsleg áhrif loftslagsbreytinga eru ekki alltaf jafn greinileg og áhrif á umhverfi og vistkerfi þar sem erfitt getur reynst að leggja tölulegt mat á áhrif loftslagsbreytinga á samfélög.

3.7.1. Hlýnun og samfélagsleg áhrif

Loftslagsbreytingar hafa ekki eingöngu áhrif á náttúru heldur geta haft bein áhrif á samfélög manna og breytingar eru að eiga sér stað sem munu hafa afdrifarík áhrif á líf fólks en við erum rétt að byrja að skilja vægi þeirra. Í fátækari ríkjum heims leiða loftslagsbreytingar til efnahagslegra áfalla vegna versnandi aðstæðna. Hlýnun og auknir þurrkar hafa víða stýtt ræktunartíma og dregið úr uppskeru. Í suðurhluta Afríku hefur þurrkatími til dæmis lengst og úrkoma orðið óáreiðanlegri. Hlýnunin hefur meðal annars leitt til þess að aftakaveður eru tíðari og öflugri en áður og valda meiri búsisfjum.

Dauðsföll vegna hærri sumarhita í Evrópu, tíðari skógareldar, frjókornaofnæmi utan hitabeltisins á norðurhveli jarðar og greiðari smitleiðir farsóttá á sumum svæðum eru dæmi um þætti sem hnattræn hlýnun hefur áhrif á. Þessar breytingar í veðurfari hafa alvarlegar afleiðingar fyrir fátækari samfélög sem hafa takmarkaða möguleika til aðlögunar og eru gjarnan háð loftslagstengdum auðlindum, svo sem staðbundnum vatns- og matarforða.

Víðast hvar í heiminum munu áhrif loftslagsbreytinga vera mjög neikvæðar, bæði á náttúru og samfélög. Efnahagslegar afleiðingar fyrir einstaklinga og stundum heilu þjóðirnar af völdum óveðra geta verið umtalsverðar.

Vistkerfi sjávar og útbreiðslusvæði nytjafiska hafa breyst og fiskitegundir í auknu mæli fært sig um set vegna hækkandi sjávarhita.

Sérfræðingar telja að slík þróun geti ógnað lífsviðurværi og aðgengi sumra ríkja að fæðu.

Hlýnun hefur líka áhrif á íslenskt samfélag og má nefna eftirfarandi:

- Áhrif hlýnunar á landbúnað á Íslandi eru umtalsverð, veðurfar er nú hagstæðara fyrir kornrækt og einnig hafa aðstæður til skógræktar og landgræðslu batnað.
- Útbreiðsla skordýra er nátengd hita- og rakastigi og hefur hlýrra loftslag skapað betri skilyrði fyrir meindýr og plöntusjúkdóma sem ekki hafa áður þekktst hérlandis.
- Fyrir Hornafjörð sem sjávarútvegsbæ geta breytingar á útbreiðslu og stofnstærð nytjategunda haft umtalsverð áhrif. Nú þegar má sjá ákveðnar breytingar á útbreiðslu tegunda. Þannig hafa ýsa, lýsa, skötuselur og ufsi breiðst út til norðurs, en loðna sem er kaldsjávarfiskur hefur hopað og heldur sig nú lengra norður í höfum.

3.7.2 Samfélagsleg áhrif vegna bráðnunar jökla

Bráðnun jökla, einkum á Suðurskautslandinu og Grænlandi, er einhver veigamesta orsök hækkandi sjávarborðs jarðar. Með hækkun sjávarborðs eykst sjávarrof, sjávarflóð magnast, grunnvatn mengast og láglendi fer á kaf víða um heim. Mörg af þéttbýlustu svæðum jarðar í Asíu sem og í Norður-Evrópu og Ameríku eru sérstaklega í hættu. Um er að ræða strandsvæði þar sem hundruð milljónir manna búa.

Milljónir manna nýta leysingavatn frá jöklum til drykkjar og við áveitur. Viðbúið er að gríðarlegur vatnsskortur verði víða og þá sérstaklega á mjög fjölmönnum svæðum í Indlandi og Kína þegar jöklar Himalaya hverfa. Íslenskir jöklar geyma ferskvatnsbirgðir sem samsvara um 20 ára ársúrkomu. Íslendingar hafa til umræða meira af óspilltu ferskvatni á hvern íbúa en nokkur önnur þjóð í heiminum. Þetta er afar dýrmæt auðlind sem okkur ber að vernda og nýta skynsamlega.

Bráðnun jöklanna hefur bein áhrif á staðbundnar aðstæður samfélagsins á Hornafirði. Jöklar bráðna hratt og verða að óbreyttu að mestu horfnir eftir 150-200 ár.

- Stórbrotinn þáttur í landslagi svæðisins hverfur sem getur haft alvarlegar afleiðingar fyrir ferðaþjónustuna, eina stærstu atvinnugrein svæðisins og landsins.
- Bráðnun jökla veldur landrasi sem gerir það að verkum að hin grunna innsigling til Hafnar grynast enn frekar sem skapar aukna hættu fyrir skipaferðir. Lokist innsiglingin alveg mun sjávarútvegur sennilega leggjast af á Höfn.
- Talið er að landris geti valdið vandræðum fyrir fráveitu Hornafjarðar. Þegar land lyftist lækkar grunnvatnsstaðan og um leið breytist jarðvegsrýmdin. Getur það valdið því að fráveiturör hníkist til. Vísbendingar eru um að þetta sé þegar raunin.
- Landris getur valdið því að firðir þorna upp með tilheyrandi jarðvegsfoki.

Heimildir:

<http://www.visir.is/g/2017170229849/vara-vid-althjodlegum--thorskastridum--vegna-loftslagsbreytinga-og-thjodernisstefnu>
Vatnajökulsþjóðgarður, 2017. Lifandi kennslustofa í loftslagsbreytingum, fræðslubæklingur.
<http://www.vedur.is/loftslag/loftslagsbreytingar/liklegar/>
http://aldarafmaeli.hi.is/afmaeli/krian_i_kreppu
https://www.umhverfissraduneyti.is/media/PDF_skrar/visindanefndloftslagsbreytingar.pdf
http://skemman.is/stream/get/1946/14960/35555/1/Mastersritger%C3%B0_2013.pdf
<http://www.vedur.is/loftslag/loftslagsbreytingar/afleiðingar/>
Snorri Baldursson, 2014. Lífríki Íslands.

4. Mögulegar mótvægisáðgerðir

Draga má úr áhrifum loftslagsbreytinga með ýmsum mótvægisáðgerðum. Til þess þarf átak af hálfu stjórnvalda, fyrirtækja, stofnana og almennings. Án áðgerða verða áhrif loftslagsbreytinga að öllum líkindum meiri en aðlögunargeta náttúrulegra og samfélagslegra kerfa ræður við. Mótvægisáðgerðir má flokka í tvennt; annarsvegar þær sem minnka losun gróðurhúsalofttegunda og hinsvegar þær sem binda gróðurhúsalofttegundur í gróðri, jarðvegi og bergi.

Losun gróðurhúsalofttegunda af mannavöldum er hér á landi mest frá orkuframleiðslu (50%), iðnaði (24%), landbúnaði (21%) og úrgangi (4%). Á undanförunum árum hefur aukning í losun gróðurhúsalofttegunda hér á landi verið mest frá iðnaði, orkuframleiðslu, úrgangi og samgöngum. Hins vegar dróst útstreymi saman frá sjávarútvegi og í minna mæli frá landbúnaði.

4.1 Stjórnvöld og mótvægisáðgerðir

Loftslagsbreytingar af mannavöldum eru taldar vera eitt af alvarlegustu umhverfisvandamálum samtímans. Ábyrgð stjórnvalda er mikil og eigi að vera unnt að vinna að lausn vandans er ljóst að til þarf samstarf og samvinnu ríkja heims. Sameinuðu þjóðirnar hafa beitt sér gegn loftslagsbreytingum og meðal annars unnið að rammasamningi um loftslagsbreytingar en helstu áfangar í þróun samningsins eftirfarandi:

- 1992 - samningurinn samþykktur á ríkjaráðstefnu í Ríó í Brasilíu.
- 1995 - bindandi markmið fyrir ríki heimsins um samdrátt í losun gróðurhúsalofttegunda voru samþykkt í Kyoto í Japan.
- 2005 - Kyoto-bókunin gekk formlega í gildi þegar nægilega mörg ríki höfðu staðfest hana; bókunin rennur út árið 2020.
- 2015 - samkomulag náðist í París um að stöðva aukningu í útblæstri gróðurhúsalofttegunda á heimsvísu og að halda hnattrænni hlýnun innan við 2°C.
- 2016 - Parísarsamkomulagið gekk í gildi þegar 55 ríki höfðu fullgilt samkomulagið.

Íslendingar gerðust strax aðilar að Rammasamningi Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar, Kyoto bókuninni og síðar Parísarsamkomulaginu sem komu í kjölfarið. Ísland hefur enn fremur skuldbundið sig til að taka þátt í átaksverkefni Evrópusambandsins sem miðar að því að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda um 40% árið 2030, miðað við 1990. Í nóvember 2015 lögðu Íslensk stjórnvöld fram sóknaráætlun í loftslagsmálum þar sem áhersla er lögð á samvinnu stjórnvalda og atvinnulífs um að draga úr losun útblásturs í tilteknum greinum og ýta undir nýsköpun og loftslagsvænar lausnir. Áætlunin byggir á 16 verkefnum sem miða að því að draga úr losun, auka bindingu kolefnis úr andrúmslofti, styðja alþjóðleg loftslagsverkefni og efla getu stjórnvalda til að takast á við strangari skuldbindingar í loftslagsmálum.

Helstu markmið og verkefni sóknaráætlunarinnar eru eftirfarandi:

- Orkuskipti í samgöngum. Áðgerðir miða að því að hlutfall visthæfra endurnýjanlegra orkugjafa verði 10% árið 2020.
- Efling innviða á landsvísu fyrir rafbíla. Áðgerðir miða að því að styrkja innviði sem mikilvægir eru rafbílavæðingu svo sem uppsetningu hraðhleðslustöðva.
- Vegvísir sjávarútvegs um samdrátt í losun. Áðgerðir miða að því að draga úr losun um 40% í sjávarútvegi árið 2030 miðað við 1990.

- Loftslagsvænni landbúnaður. Unnið verður að því að setja fram vegvísi um samdrátt frá landbúnaði.
- Efling skógræktar og landgræðslu. Áætlað er að setja meira fjármagn í skógrækt og landgræðslu.
- Endurheimt votlendis. Áætlað er að setja á fót verkefni sem miðar að endurheimt votlendis.
- Kolefnisjöfnun í ríkisrekstri. Styrkja á verkefni sem stuðla að kolefnisjöfnun í ríkisrekstri.
- Átak gegn matarsóun. Efla á verkefni sem stuðla að minni matarsóun.

Aðgerðaráætlunin felur einnig í sér að efla verkefni með áherslu á að greina afleiðingar loftslagsbreytinga og miðla þeim upplýsingum til almennings, svo sem:

- Vísindaskýrsla um afleiðingar loftslagsbreytinga á Íslandi
- Aðlögun að loftslagsbreytingum
- Bætt bókhald og spár um losun og kolefnisbindingu
- Jöklar Íslands-lifandi kennslustofa um loftslagsbreytingar (*Hörfandi jöklar*)

Ísland hefur margt fram að færa til þess að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda á heimsvísu, t.d með verk- og tæknipækkingu á sviði jarðhita og landgræðslu.

Til að mynda er Jarðhitaskóli Háskóla Sameinuðu þjóðanna rekinn af Orkustofnun en hlutverk hans er að veita ungum sérfræðingum frá þróunarlöndum sérhæfða þjálfun í rannsóknum og nýtingu jarðhita. Auk þess er Ísland virkur málsvari samþættingar jafnréttis- og loftslagsmála. Hluti af sóknaráætluninni verður að efla starf Íslands í loftslagsmálum á alþjóðavísu.

- Samstöðuhópur um nýtingu jarðhita á heimsvísu
- Loftslagsmál og norðurslóðir
- Græni loftslagssjóðurinn
- Framlög til loftslagsvænnar þróunaraðstoðar

4.2 Mótvægisáðgerðir fyrirtækja og einstaklinga

Fyrirtæki og einstaklingar eru í lykilhlutverki þegar kemur að áðgerðum til samdráttar í losun gróðurhúsalofttegunda. Tækifæri til mótvægisáðgerða snúa að ákveðnum þáttum; samgöngum, neyslu, landnýtingu og orkunotkun. Auk þess geta fyrirtæki í ákveðnum atvinnugreinum hugað að sérhæfðum tæknilegum þáttum og rekstri fyrirtækjanna með það að leiðarljósi að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda.

- Fyrirtæki í landbúnaði geta með ýmsum leiðum dregið úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda. Til dæmis með bættri fóðrun búfjár sem minnkar framleiðslu metans, með metangasgerð úr mykju og með aukinni notkun búfjáraðurar á kostnað tilbúins köfnunarefnisáburðar.
- Samdráttur hefur orðið í útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá sjávarútvegi meðal annars vegna rafvæðingar fiskimjölsmiðja. Fyrirtæki í sjávarútvegi geta dregið enn frekar úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda til dæmis með aukinni notkun lífeldsneytis fyrir fiskiskip.
- Í járnblendiframleiðslu eru ákveðin tækifæri til að minnka útstreymið eins og með því að auka notkun á timburkurli í framleiðslu eða með endurheimt kolefnis í framleiðslunni.

4.3 Kolefnisspor og kolefnisjöfnun

Losun gróðurhúsalofttegunda er jafnan mæld í koltvísýringsgildum. Það á líka við um kolefnissporin sem eru einfaldur og skýr mælikvarði á hversu mikil gróðurhúsaáhrif felast í ákveðinni afurð, framleiðsluferli eða framleiðslustað. Áhugavert er að reikna út kolefnisspor sitt og þannig gera sér betur grein fyrir því hvaða þættir í hinu daglega lífi hafa mest áhrif. Á þann hátt geta fyrirtæki og

einstaklingar fundið leiðir til þess að minnka kolefnisspor sín og kolefnisjafna þau. Hér að neðan má finna tengla á reiknivélar þar sem reikna má kolefnisspor og einnig má þar finna upplýsingar um hvernig hægt er að kolefnisjafna sporin.

<http://www.carbonfootprint.com/>

<http://kolvidur.is/carbon-calculator/>

Sérstök verkefni snúa að bindingu kolefnis í gróðri, jarðvegi og bergi í þeim tilgangi að draga úr styrk koltvísýrings í andrúmslofti. Verkefnið Kolviður er dæmi um einfalda leið fyrir einstaklinga og fyrirtæki til kolefnisjöfnunar. Icelandair býður farþegum sínum að kaupa kolefnisjöfnun sem unnin er í samstarfi við Kolvið. Auk þess býður WOW air sínum farþegum uppá að gefa frjáls framlög til Landverndar. Carbfix verkefnið byggir á samstarfi fjölmargra stofnana, háskóla og fyrirtækja og lýtur að því að dæla CO₂ niður í berglögin í nágrenni Hellsheiðarvirkjunar, en við það myndast stöðugar, kolefnisríkar steindir í basaltinu. Niðurstöður rannsókna þar sýna að meira en 95% af því CO₂ sem er dælt niður hefur umbreytt í steindir á innan við tveimur árum.

<https://wowair.is/um-okkur/wow-air-landvernd/>

<http://www.icelandair.is/information/about-icelandair/environmental-policy/>

4.3.1 Samgöngur

Flest farartæki brenna enn jarðefnaeldsneyti þótt ör þróun sé í vistvænni átt hvað orkugjafa varðar. Útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum stafar fyrst og fremst af bruna jarðefnaeldsneytis. Árið 2014 nam útstreymi gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum 19% af heildarútstreymi Íslands. Samgöngur voru þá næst stærsta uppsprettan á eftir útstreymi frá iðnaði og efnanotkun. Vegasamgöngur eru 93% af heildarútstreymi frá samgöngum. Frá 1990 til 2014 jókst útstreymi vegna vegasamgangna um 52% en frá árinu 2009 hefur útstreymi frá umferð dregist saman um 9%. Að hluta til stafar það af samdrætti í akstri vegna efnahagsþrenginga og að hluta vegna þróunar bílvéla í átt til meiri sparneytni.

Mögulegar aðgerðir fyrirtækja og einstaklinga:

- Draga úr losun gróðurhúsalofttegunda og minnka eldsneytiskostnað með notkun visthæfra bíla sem eru knúin vistvænum orkugjöfum (rafmagn, vetni, metani) eða eru með útblástursgildi undir 120 CO₂ g/km.
- Með því að stunda vistakstur má draga úr losun gróðurhúsalofttegunda, umferðaröryggi eykst og eldsneytisnotkun minnkar. Með vistakstri er hægt að spara tíunda hvern tank á bílinn og minnka slit á bílum og dekkjum sem sparar peninga og dregur úr mengun.
- Nota almenningssamgöngur þegar mögulegt er.
- Velja vistvænan ferðamáta, hjóla eða ganga. Sem dæmi hafa kannanir sýnt að þriðjungur ferða Reykvíkinga er styttri en 1 km og á um 15 mín má ganga þá vegalengd.
- Hægt er að nýta upplýsingatækni til að fækka ónauðsynlegum ferðum og spara ferðakostnað og tíma, til dæmis með fjarfundabúnaði eða tölvupósti.
- Sleppa nagladekkjum, en reglulega má rekja háan styrk svifryks í andrúmslofti til notkunar nagladekkja.

4.3.2 Orkuframleiðsla og orkunotkun

Yfir 99% íslenskrar raforkuframleiðslu kemur frá endurnýjanlegum orkuauðlindum, það er jarðvarma (um 27%) og vatnsafli (um 73%). Um 90% heimila eru kynt með jarðvarma og eru aðeins nokkur hús, sumarbústaðir og einstaka sundlaugar þar sem raforka er framleidd með dísilrafstöð og kynt er með eldsneyti. Mörg önnur lönd, svo sem Þýskaland og Bandaríkin framleiða stóran hluta af raforku og varma úr jarðefnaeldsneyti, olíu, kolum eða gasi. Er því útstreymi frá orkuframleiðslu á Íslandi fremur lítið miðað við önnur lönd.

Hornafjörður er ekki á háhitasvæði og í dag er raforka nýtt til hitunar húsa og neysluvatns. Fundist hefur jarðhiti (ca 50–70°C) á þremur stöðum innan sveitarfélagsins og er nú unnið að frekari borunum á einum þeirra, með það markmið að koma hitaveitu í öll hús á Höfn.

Aðgerðir fyrirtækja og einstaklinga hvað varðar orkumál snúa fyrst og fremst að samdrætti í orkunotkun:

- Við val á raftækjum ætti að taka mið af orkunýtni þeirra.
- Draga má úr kyndikostnaði og orkunotkun með því að minnka kyndingu yfir sumartímamann eða þegar hús eru ekki í notkun.
- Raftæki í biðstöðu, eins og til dæmis sjónvörp geta eytt um 40% af þeirri orku sem notuð er þegar kveikt er á þeim. Mikilvægt er að rjúfa straum til raftækja sem ekki eru í notkun.
- Þegar dagsbirtu nýtur má auðveldlega spara ljósanotkun.
- Sparperur nota allt að 80% minna rafmagn og duga allt að 10 sinnum lengur.

4.3.3 Skógrækt, landgræðsla og endurheimt votlendis

Eyðing skóga og annars náttúrulegs gróðurs vegna umsvifa mannsins hamlar náttúrulegri upptöku koltvísýrings sem verður til við ljóstíllífun plantna. Aukin skógrækt er því gott dæmi um kolefnisbindandi mótvægisáðgerð sem leiðir til aukinnar upptöku koltvísýrings í jarðvegi. Binding gróðurhúsalofttegunda með skógrækt er möguleg leið fyrir bæði einstaklinga og fyrirtæki til að leggja sitt af mörkum til að vinna gegn aukningu slíkra lofttegunda í andrúmsloftinu. Svipuðum árangri má ná með annarri landgræðslu, þ.e. að græða upp illa farið land með friðun, áburðargjöf o.fl. Endurheimt votlendis eða lokun skurða er önnur mótvægisáðgerð til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda. Við framræingu lands nær súrefni niður í jarðveginn og rotnun plöntuleifa hefst. Við það losna gróðurhúsalofttegundir út í andrúmsloftið. Um 4.200 km² votlendis hafa verið ræstir fram hér á landi með um 34.000 km af skurðum. Af því landi sem ræst hefur verið fram er stór hluti í lítilli beinni notkun. Áætlað er að framræst votlendi losi yfir 70% alls koltvísýrings á Íslandi.

Að endurheimta mýrarnar þar sem ekki er þörf á ræktarlandi er því afar fljótverk leið til að draga hratt úr heildarlosun landsins. Efla þarf rannsóknir á losun gróðurhúsalofttegunda í mismunandi votlendi til að unnt sé að ákvarða með vissu hve mikið má draga úr heildarlosun með átaki í endurheimt þess. Hafa ber í huga að óraskað votlendi losar metan, sem er öflugri gróðurhúsalofttegund en koltvísýringur, en þessi áhrif eru þó talin hverfandi miðað við ágóðann.

Heimildir

https://www.umhverfisraduneyti.is/media/PDF_skrar/island_og_loftslagsmal_hhi_feb_2017.pdf
https://www.umhverfisraduneyti.is/media/PDF_skrar/Loftslag.pdf <http://graenskref.reykjavik.is/heilraedi>
https://www.mbl.is/frettir/innlent/2016/11/26/vantar_visindin_vid_endurheimt_myra/
<https://www.althingi.is/altext/pdf/146/s/0289.pdf>

4.3.4 Neysla

Með endurskoðun á neyslu- og starfsvenjum geta einstaklingar og fyrirtæki dregið verulega úr kolefnaspori sínu. Forgangsröðun vistvænnar hegðunar er:

1. Nota minna
2. Endurnýta
3. Endurvinna

Á vef Umhverfisstofnunar er að finna mikinn fróðleik og ráð til einstaklinga um hvað hægt er að gera til að draga úr gróðurhúsalofttegundum um leið og lífsgæðum er viðhaldið. Sjá nánar á:

<https://www.ust.is/einstaklingar/loftslagsbreytingar/hvad-get-eg-gert/>

4.3.5 Plast

Til að framleiða plast eru notuð efni eins og olía, kol, selluósi, gas og salt. Um 2 kg af olíu þarf til að framleiða 1 kg af plasti. Plast veldur því losun gróðurhúsalofttegunda bæði á framleiðslustigi og einnig á lokastigi þegar það fer til urðunar. Notkun einnota plasts er sérstaklega mikið áhyggjuefni. Áætlað er að hver íbúi Evrópusambandsins noti að meðaltali um 500 plastpoka á ári, flesta þeirra einungis einu sinni. Áætlað er að um 70 milljónum plastpoka sé fleygt á hverju ári hér á landi en það eru um 1.120 tonn af plasti, sem í þarf 2.240 tonn af olíu til að framleiða.

Eiginleikar plasts eru þannig að endingartími þess er yfirleitt nokkuð mikill, það er slitsterkt svo það hverfur ekki eða eyðist heldur brotnar í smærri og smærri hluta í náttúrunni. Plast sem fer ekki réttar leiðir til endurvinnslu endar gjarnan í jarðvegi, hafinu, ám og vötnum, þar sem það veldur lífríkinu skaða. Á síðastliðnum árum hefur orðið mikil vakning varðandi mengun í hafinu, enda hefur sjórinn verið notaður sem hálfgerð ruslakista fyrir úrgang og jafnvel eitrefni. Mikill meirihluti, 60–80%, af öllu rusli í hafi er plast og berast meira en átta milljón tonn af því í hafið á hverju ári. Til eru víðfeðmar fljótandi plasteyjar í úthöfunum og iðulega finnast dýr með magann fullan af plastúrgangi. Um 70% af því plasti sem endar í sjónum sekkur, um 15% flýtur og um 15% rekur á fjörur.

- Framleiðslufyrirtæki hafa mörg hver tækifæri til að draga verulega úr plastnotkun í framleiðslu sinni.
- Einstaklingar ættu að notast við margnota poka og ílát fremur en einnota.
- Á Íslandi ætti alltaf að neyta kranavatns með margnota brúsa fremur en að kaupa vatn í einnota plastflöskum.
- Einstaklingar og fyrirtæki geta skilað flestu plasti til endurvinnslu.

Heimildir

<https://www.ust.is/einstaklingar/graenn-lifsstill/heimilid/einnota-plastumbudir/>

<http://ibn.is/29-leidir-til-ad-minnka-plastnotkun/>

4.3.6 Matarsóun

Þriðjungur þess matar sem keyptur er inn á heimili fer beint í ruslið samkvæmt Matvælastofnun Sameinuðu þjóðanna (FAO) eða um 1.3 milljón tonn af mat á hverju ári í heiminum öllum. Þá er ekki talinn með sá matur sem hent er sem leifum af elduðum og framreiddum mat. Ákveðin vitundarvakning hefur átt sér stað varðandi matarsóun og að með því að draga úr henni megi nýta

betur auðlindir og spara fé. Það sem sjaldnar hefur komið fram er að sóun matar leggur mikið til losunar gróðurhúsalofttegunda. Samkvæmt skýrslu Matvæla- og landbúnaðarstofnunar Sameinuðu þjóðanna er áætlað að um 3.300.000 Gg (eitt Gg er milljón kg koltvísýringsígilda) í heiminum á ári megi rekja til matarsóunar. Ef gert er ráð fyrir að losun á hvern íbúa á Íslandi sé sambærileg meðallosun á hvern íbúa Evrópu þá er losun frá matarsóun Íslendinga á ári hverju rúmlega 200 Gg koltvísýringsígilda. Það gerir um 5% af árlegri heildarlosun Íslands árið 2013.

Heimildir

<http://www.matarsoun.is/default.aspx?pageid=26d48a16-0248-11e6-b096-00505695691b>

<http://www.matarsoun.is/default.aspx?pageid=06d03511-0b03-11e6-a224-00505695691b>

4.3.7 Úrgangur

Við rotnun úrgangs á urðunarstöðum myndast hauggas sem í eru gróðurhúsalofttegundir, svo sem metan. Magn gróðurhúsalofttegunda sem myndast ræðst meðal annars af magni úrgangsins og hlutfalli lífrænna efna. Því minni úrgangur því minna af gróðurhúsalofttegundum.

- Nægjusemi og nýtni dregur úr úrgangi.
- Með því að jarðgera lífrænan úrgang á réttan hátt má draga úr urðun.
- Endurvinnsla dregur einnig úr urðun.

Heimild:

<https://www.ust.is/einstaklingar/loftslagsbreytingar/hvad-get-eg-gert/heilraedi/>

5. Ferðamennska og loftslagsbreytingar

Ferðaþjónusta er ásamt sjávarútvegi mikilvægasta atvinnugrein Hornafjarðar og hefur vægi hennar þar aukist mikið undanfarin ár eins og alls staðar á landinu. Undanfarin ár hefur vetrarferðamennska orðið vinsælli, sem styrkir atvinnugreinina á heilsársgrundvelli og hefur mikið gildi fyrir mannlíf á svæðinu og byggðarþróun. Vatnajökulsþjóðgarður og aðgengi að skriðjökklunum er talin helsta ástæða fyrir vinsældum svæðisins meðal ferðamanna og eru íshellar á suðursvæði Vatnajökuls mikið aðdráttarafl á veturna. Mikilvægi jökulsins er því gríðarlegt fyrir ferðaþjónustu á svæðinu. Þótt hörfun skriðjökla Vatnajökuls sé mikið áhyggjuefni þá skapa þeir einnig tækifæri fyrir umræðu og fræðslu um loftslags- og jöklabreytingar þar sem ummerkin eru sérstaklega sýnileg og aðgengi að jökklunum víðast hvar gott.

Mikil vakning hefur orðið á gæðakröfum í ferðaþjónustunni undanfarið og nefnir herra hlutfall ferðamanna nú en áður mikilvægi viðurkenndrar gæðavottunar við val á ferðaþjónustufyrirtæki. Stöðugt fjölgar umsóknum ferðaþjónustufyrirtækja í Vakann sem er gæðakerfi fyrir ferðaþjónustuna. Markmið þess er fyrst og fremst að stuðla að gæðum, öryggi og umhverfisvitund í íslenskri ferðaþjónustu, vera leiðbeinandi fyrir fyrirtæki í greininni og efla samfélagsábyrgð fyrirtækja. Meðlimir Vakans eru orðnir 111 og fjöldi ferðaþjónustufyrirtækja eru enn í umsóknarferli.

Loftlagsbreytingar geta haft margvíslegar afleiðingar fyrir ferðaþjónustuna. Veðurfar hefur mikil bein áhrif á umhverfisskilyrði og rekstur hennar, sem og lengd og gæði ferðamannatímabíla. Ferðaþjónustan er viðkvæm fyrir breytingum í veðurfari en þær geta haft bæði jákvæð og neikvæð áhrif eftir svæðum. Strand- og eyjaferðamennska eru sérstaklega viðkvæm fyrir hækkun sjávar og flóðum, vetrarferðamennska er einnig í hættu vegna bráðnunar jökla og snævar.

Ferðaþjónustan er þó ekki einungis hugsanlegt fórnarlamb loftlagsbreytinga heldur einnig mikilvægur orsakavaldur þeirra. Talið er að um 5% af CO₂ útblæstri í heiminum komi frá greininni. Um 75% þess kemur frá flugumferð og má búast við að á næstu 15 árum eða þar um bil muni útblástur frá ferðaþjónustunni vaxa um 130%, að mestu frá flugumferð, ef ekkert verður að gert.

Heimildir:

vakinn.is

<http://sdt.unwto.org/sites/all/files/docpdf/fromdavostocopenhagenbeyondunwtopaperelectronicversion.pdf>

<http://sdt.unwto.org/sites/all/files/docpdf/fromdavostocopenhagenbeyondunwtopaperelectronicversion.pdf>

<http://sdt.unwto.org/content/faq-climate-change-and-tourism>

6. Heimildir og frekari fróðleikur

6.1 Bækur og yfirlitsverk

Ahlmann, H. W:son. 1979 (originally published in Swedish in 1936). *Í ríki Vatnajökuls, á hestbaki og skíðum / På skidor och till häst i Vatnajökulls rike*. Reykjavík, Almenna bókafélagið. 210 pp.

Ahlmann, H. W:son. 1938 (originally published in Swedish in 1936). *Land of ice and fire / På skidor och till häst i Vatnajökulls rike*. London, K. Paul, Trench, Trubner & co., ltd. 271 pp.

Evans, David J. A. 2016. *Vatnajökull National Park (South Region). Guide to a glacial landscape legacy*. Durham University, Vatnajökull National Park, 224 pp. ISBN: 978-9935-9343-0-7.

Gísli Sverrir Árnason, ritsj./ed. 1998. *Kvískerjabók. Rit til heiðurs systkinunum á Kvískerjum [Kvískerjabók. A collection of articles in honour of the brothers and sisters of Kvísker]*. Höfn í Hornafirði, Sýslusafn Austur-Skafta-fellssýslu, 303 pp. ISBN: 9979-60-403-4.

Helgi Björnsson, Egill Jónsson, Sveinn Runólfsson, ritstj./eds. 2004. *Jöklaveröld. Náttúra og mannlíf [Glacier world. Nature and society]*. Reykjavík, Skrudda, 408 pp. ISBN: 9979-772-38-7.

Helgi Björnsson. 2009. *Jöklar á Íslandi*. Reykjavík, Opna, 479 pp. ISBN: 978-9935-10-004-7.

Helgi Björnsson. 2015. *Af hverju eru jöklar og ís á jörðinni? Spurningar af vísindavefnum um jökla og loftslagsmál*. Reykjavík, Mál og menning, 55 pp. ISBN: 978-9979-335-62-7.

Helgi Björnsson. English translation: D'Arcy, J.M. 2017. *The Glaciers of Iceland: A Historical, Cultural and Scientific Overview*, Serie: Atlantis Advances in Quaternary Science v. 2. Atlantic Press, 613 pp. ISBN: 978-94-6239-206-9. doi:10.2991/978-94-6239-207-6. 2

Hjörleifur Guttormsson, Oddur Sigurðsson. 1997. *Leyndardómar Vatnajökuls. Víðerni, fjöll og byggðir. Stórbrotin náttúra, eldgos og jökulhlaup [Mysteries of Vatnajökull. Wilderness, mountains and settlements. Monumental nature, volcanoes and jökulhlaups]*. Reykjavík, Fjöll og firnindi, 280 pp. ISBN: 9979-60-325-9.

Ives, Jack D. 2007. *Skaftafell in Iceland—A Thousand Years of Change* [Simultaneously published in Icelandic under the title *Skaftafell í Örafum—Íslands þúsund ár*]. Reykjavík, Iceland. Ormstunga. 256 pp. ISBN: 978-9979-63-055-5. (English). ISBN: 978-9979-63-056-2. (Icelandic).

Sigurður Þórarinnsson. 1974. *Vötnin stríð. Saga Skeiðarárhlaupa og Grímsvatnagosa [The swift flowing rivers. The history of Grímsvötn jökulhlaups and eruptions]*. Reykjavík, Bókaútgáfa Menningarsjóðs, 254 pp.

Snævarr Guðmundsson. 1999. *Þar sem landið rís hæst. Örafajökull og Örafasveit [The highest peak of Iceland. Örafajökull and the district of Örafi]*. Reykjavík, Mál og menning, 183 pp. ISBN: 9979-318-74-0.

Sveinn Pálsson. Íslensk þýðing og ritstjórn: Jón Eypórsson, Pálmi Hannesson, Steindór Steindórsson. 1945 (upprunalega ritað 1791–1797). *Ferðabók Sveins Pálssonar: dagbækur og ritgerðir 1791–1797*. Reykjavík, Snælandsútgáfan, 1945, 813 pp.

Sveinn Pálsson. English translation: Oddur Sigurðsson, Williams, Richard S., Jr. 2004 (originally written in 1795). *Draft of a physical, geographical, and historical description of Icelandic ice mountains on the basis of a journey to the most prominent of them in 1792–1794 with four maps and eight perspective drawings. An annotated and illustrated English translation*. Reykjavík, The Icelandic Literary Society, 183 pp. ISBN: 9979-66-146-1.

6.2 Vísindagreinar, skýrslur og aðrar heimildir

Ahlmann, H. W:son, Sigurður Þórarinnsson. 1937–1943. Vatnajökull. Scientific results of the Swedish-Icelandic investigations 1936–37–38. *Geografiska Annaler*, **19**(3–4), 146–231, **20**(3–4), 171–233, **21**(1), 39–66, **21**(3–4), 171–242, **22**(3–4), 188–205, **25**(1–2), 1–54.

Boulton, G. S., Harris, P. W. V., Jarvis, J. 1982. Stratigraphy and structure of a coastal sediment wedge of glacial origin inferred from sparker measurements in glacial Lake Jökulsárlón in southeastern Iceland. *Jökull*, **32**, 37–47.

Bryndís Marteinsdóttir, Kristín Svavarsdóttir, Þóra Ellen Þórhallsdóttir. 2007. Landnám birkis á Skeiðarársandi [Colonization of mountain birch (*Betula pubescens*) on Skeiðarársandur]. *Náttúrufræðingurinn*, **75**, 123–129.

Daði Björnsson (2015). *Heildarstærð jökla á Íslandi 2014. Loftmyndir ehf., minnisblað dags. í mars. 2015 [The size of glaciers in Iceland. Loftmyndir ehf., memo dated March 2015]*.

Eyjólfur Magnússon, Finnur Pálsson, Helgi Björnsson, Snævarr Guðmundsson. 2012. Removing the ice cap of Ör-æfajökull central volcano, SE-Iceland: Mapping and interpretation of bedrock topography, ice volumes, subglacial troughs and implications for hazards assessments. *Jökull*, **62**, 131–150.

Evans, David J. A., Orton, Chris. 2015. Heinabergsjökull and Skálafellsjökull, Iceland: active temperate piedmont lobe and outwash head glacial landsystem. *Journal of Maps*, **11**(3), 415–431, doi: 10.1080/17445647.2014.-919617.

Flosi Björnsson. 1998. Samtíningur um jökla milli Fells og Staðarfjalls. *Jökull*, **46**, 49–61.

Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Tómas Jóhannesson, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, Oddur Sigurðsson. 2006. Response of Hofsjökull and southern Vatnajökull, Iceland, to climate change. *Journal of Geophysical Research*, **111**, F03001, doi:10.1029/2005JF000388.

Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Sverrir Guðmundsson, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, Tómas Jóhannesson, Hrafnhildur Hannesdóttir, Sven Þ. Sigurðsson, Etienne Berthier. Modelling the 20th and 21st century evolution of Hoffellsjökull glacier, SE-Vatnajökull, Iceland. *The Cryosphere*, **5**, 961–975.

Halldór Björnsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Anna K. Daníelsdóttir, Árni Snorrason, Bjarni D. Sigurðsson, Einar Sveinbjörnsson, Gísli Viggósson, Jóhann Sigurjónsson, Snorri Baldursson, Sólveig Þorvaldsdóttir, Trausti Jónsson. 2008. *Hnattrænar loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi – Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar. [Global climate change and their effects in Iceland – Report of a Scientific Committee.] Umhverfissráðuneytið, Reykjavík. 150 pp.*

Helgi Björnsson. 1988. *Hydrology of Ice Caps in Volcanic Regions*. Societas Scientarium Islandica, University of Iceland, Reykjavík, Iceland, **45**, 139 pp. ISSN: 0376-2599.

Helgi Björnsson. 1996. Scales and rates of glacial sediment removal: a 20 km long and 300 m deep trench created beneath Breiðamerkurjökull during the Little Ice Age. *Annals of Glaciology*, **22**, 141–146.

Helgi Björnsson. 1998. Frá Breiðumörk til jökulsands: Mótun lands í þúsund ár. In: *Kvískerjabók*, 164–176.

Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, Sverrir Guðmundsson. 2001. Jökulsárlón at Breiðamerkursandur, Vatnajökull, Iceland: 20th century changes and future outlook. *Jökull*, **50**, 1–18. 3 Helgi Björnsson, Finnur Pálsson. 2004. Jöklar í Hornafirði. In: *Jöklaveröld*, ed: Helgi Björnsson, Egill Jónsson, Sveinn Runólfsson. Skrudda ehf., ISBN 9979-772-38-7, 125–164.

Helgi Björnsson, Finnur Pálsson. 2008. Icelandic glaciers. *Jökull*, **58**, 365–386.

Helgi Björnsson. 2010. Understanding jökulhlaups: from tale to theory. *Journal of Glaciology*, **56**(200), 1002–1010.

Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, Sverrir Guðmundsson, Eyjólfur Magnússon, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Tómas Jóhannesson, Etienne Berthier, Oddur Sigurðsson, Þorsteinn Þorsteinsson. 2013. Contribution of Icelandic ice

- caps to sea level rise: Trends and variability since the Little Ice Age. *Geophysical Research Letters*, **40**(8), 1546–1550, doi:10.1002/grl.50278.
- Hildur María Friðriksdóttir. 2014. *Landris á Vatnajökulssvæðinu metið með GPS landmælingum*. University of Ice-land, BS thesis.
- Hooper, Andrew, Benedikt Ófeigsson, Freysteinn Sigmundsson, Björn Lund, Páll Einarsson, Halldór Geirsson, Erik Sturkell. 2011. Increased capture of magma in the crust promoted by ice-cap retreat in Iceland. *Nature Geoscience*, **4**, 783–786 (2011) doi:10.1038/ngeo1269.
- Hrafnhildur Hannesdóttir, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Sverrir Guðmundsson. 2015. Changes in the southeast Vatnajökull ice cap, Iceland between ~1890–2010. *The Cryosphere*, **9**, 565–585, doi:10.5194/tc-9-565-2015.
- Hrafnhildur Hannesdóttir, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Tómas Jóhannesson, Sverrir Guðmundsson, Philippe Crochet, Hálfván Ágústsson, Finnur Pálsson, Eyjólfur Magnússon, Sven Þ. Sigurðsson, Helgi Björnsson. 2015. Down-scaled precipitation applied in modelling of mass balance and the evolution of southeast Vatnajökull, Iceland. *Journal of Glaciology*, **61**(229), 799–813, doi: 10.3189/2015JoG15J024.
- Hrafnhildur Hannesdóttir, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Snævarr Guðmundsson. 2015. Variations of southeast Vatnajökull ice cap (Iceland) 1650–1900 and reconstruction of the glacier surface geometry at the Little Ice Age maximum. *Geografiske Annaler: Series A: Physical Geography*, **97**(2), 237–264.
- María Ingimarsdóttir, Jörgen Ripa, Ólöf Birna Magnúsdóttir, Katarina Hedlund. 2012. Food web assembly in iso-lated habitats: A study from recently emerged nunataks, Iceland. *Basic and Applied Ecology*, **14**, 174–183.
- McKinzey, K.M., Ólafsdóttir, R., and Dugmore, A.J., 2005. Perception, history and science coherence or disparity in the timing of the Little Ice Age maximum in southeast Iceland. *Polar Record*, **41**, 319–334. doi:10.1017/S0032247405004687.
- Ogilvie, Astrid, and Trausti Jónsson. 2001. ‘Little Ice Age’ research: a perspective from Iceland. *Climatic Change*, **48**, 9–52. doi: 10.1023/A:1005625729889.
- Ogilvie, Astrid. 2005. Local knowledge and traveller’s tales: a selection of climatic observations in Iceland. In: Chris Caseldine, Andy J. Russell, Jórunn Harðardóttir and Óskar Knudsen (eds.), *Iceland – Modern Processes and Past Environments*. Elsevier, Amsterdam, 257–287.
- Oddur Sigurðsson. 1998. Glacier variations in Iceland 1930–1995. From the database of the Iceland Glaciological Society. *Jökull*, **45**, 3–25.
- Oddur Sigurðsson, Richard S. Williams Jr., Skúli Víkingsson. 2013. *Jöklakort af Íslandi. Veðurstofa Íslands [Map of the Glaciers of Iceland. Icelandic Meteorological Office]*.
- Ólöf Kolbrún Vilmundardóttir, Guðrún Gísladóttir, R. Lal. 2015. Soil carbon accretion along an age chronosequence formed by the retreat of the Skaftafellsjökull glacier, SE-Iceland. *Geomorphology*, **228**, 124–133.
- Sigurður Þórarinnsson. 1939a. Hoffellsjökull, its movement and drainage. *Geografiska Annaler*, **21**(3–4), 189–215.
- Sigurður Þórarinnsson. 1939b. The ice dammed lakes of Iceland with particular reference to their values as indicators of glacier oscillations. *Geografiska Annaler*, **21**(3–4), 216–242.
- Sigurður Þórarinnsson. 1943. Oscillations of the Iceland glaciers in the last 250 years. *Geografiska Annaler*, **25**(1–2), I–54.
- Sigurður Þórarinnsson. 1956. The thousand years struggle. In: Þórarinnsson (editor), *The Thousand Years Struggle Against Ice and Fire*. Bókaútgáfa menningarsjóðs, Reykjavík, 5–33.
- Sindri Snær Jónsson. 2015. Undan Jökli: Súrefnis-og kolefnisbúskapur Jökulsárlóns á Breiðamerkursandi. Univer-sity of Iceland, MS thesis.

Schmidt, P., Lund, B., Hieronymus, C., MacLennan, J., Árnadóttir, Th., Pagli, C. 2013. Effects of present day deglaciation in Iceland on mantle melt production rates. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, **118**(7), 3366–3379.

Snorri Baldursson. 2014. *Lífriki Íslands – vistkerfi lands og sjávar*. Opna, Reykjavík. 410 bls.

Snævarr Guðmundsson. 2014. *Reconstruction of late 19th century glacier extent of Kotárjökull and Breiðamerkurjökull in SE-Iceland and comparison with the current extent*. University of Iceland, MS thesis.

Snævarr Guðmundsson, Hrafnhildur Hannesdóttir, Helgi Björnsson. 2012. Post-Little Ice Age volume loss of Kotárjökull glacier, SE-Iceland, derived from historical photography. *Jökull*, **62**, 97–110. 4

Snævarr Guðmundsson. 2014. *Reconstruction of late 19th century geometry of Kotárjökull and Breiðamerkurjökull in SE-Iceland and comparison with the present*. Reykjavík, University of Iceland, MSc thesis, 55 pp. Skemman.is/handle/1946/18604.

Snævarr Guðmundsson, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson. 2017. Changes of Breiðamerkurjökull glacier, SE-Iceland, from its late nineteenth century maximum to the present. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 1–15, doi: 10.1080/04353676.2017.1355216.

Snævarr Guðmundsson, Helgi Björnsson. 2017. Changing of the flow of Breiðamerkurjökull reflected by bending of the Esjufjallarönd medial moraine. *Jökull*, **66**, 95–100.

Sverrir Aðalsteinn Jónsson, Ívar Örn Benediktsson, Ólafur Ingólfsson, Anders Schomacker, Helga Lucia Bergsdóttir, William R. Jacobsen Jr., og Hand Linderson. 2016. Submarginal drumlin formation and late Holocene history of Fláajökull, southeast Iceland. *Annals of Glaciology*, **57**(72), 128–141, doi: 10.1017/aog.2016.4.

Tómas Jóhannesson, Oddur Sigurðsson. 1998. Interpretation of glacier variations in Iceland 1930–1995. *Jökull*, **45**, 27–33.

Tómas Jóhannesson, Helgi Björnsson, Eyjólfur Magnússon, Sverrir Guðmundsson, Finnur Pálsson, Oddur Sigurðsson, Thorsteinn Thorsteinsson, Etienne Berthier. 2013. Ice-volume changes, bias-estimation of mass-balance measurements and changes in subglacial lakes derived by LiDAR-mapping of the surface of Icelandic glaciers, *Annals of Glaciology*, **54**, 63–74, doi: 10.3189/2013AoG63A422.

Þorsteinn Sæmundsson, Ingvar A. Sigurðsson, Halldór G. Pétursson, Helgi Páll Jónsson, Armelle Decaulne, Matthew J. Roberts og Esther Hlíðar Jensen. 2011. Bergflóðið sem féll á Morsárjökull 20. mars 2007 – hverjar hafa afleiðingar þess orðið? *Náttúrufræðingurinn*, **1**(3–4), bls. 131–141.

Þorvaldur Thoroddsen. 1892. Íslands Jökler i Fortid og Nutid [The glaciers of Iceland in the past and at present]. *Geografisk Tidsskrift*, 1–36.

Þorvaldur Thoroddsen. 1896. Ferð um Austur-Skaftafellsýslu og Múlasýslur sumarið 1894 [Travelling through the county of Austur-Skaftafellssýsla in the summer of 1894]. *Andvari [The Journal of the Association of Icelandic Allies]*, **21**, 1–33.

Þorvaldur Thoroddsen. 1911. *Lýsing Íslands II [Description of Iceland II]*. Hið íslenska bókmenntafélag, Kaupmannahöfn.