

Háskóli Íslands

Líf- og umhverfisvísindadeild
Land- og ferðamálafræðistofa



Tengsl hitastigs á Íslandi á árunum 1961-2009 við hnattrænar hitastigsbreytingar og NAO

eftir

Karl Jóhann Guðnason

Leiðbeinandi: Guðrún Gísladóttir

Reykjavík, maí 2009

Yfirlýsing

Hér með lýsi ég því yfir að ritgerð þessi er samin af mér og að hún hefur hvorki að hluta né í heild verið lögð fram áður til hærri prófgráðu.

Ágrip

Hnattræn hlýnun af mannavöldum er talin vera mikil ógn fyrir mannkynið í nálægri framtíð. Nákvæmar og áreiðanlegar upplýsingar um hitastig í fortíðinni eru nauðsynlegar til að geta spáð fyrir um þróun hitastigs í framtíðinni. Ísland er vel staðsett fyrir veðurfarsrannsóknir vegna staðsetningar landsins á mörkum kaldra og hlýrra loft- og hafsstrauma.

Markmið þessarar rannsóknar var að kanna tengsl hnattrænna hitastigsbreytinga við hitastig á Íslandi á tímabilinu 1961-2009 og skoða hvort hitabreytingar hér við land eru óvenjulegar með tilliti til hitastigs síðustu þúsundir ára. Einnig var markmiðið að finna tengsl á milli Norður-Atlantshafssveiflunnar (e. North Atlantic Oscillation - NAO) og hitastig á Íslandi.

Niðurstaða rannsóknarinnar er að hnattrænt hitastig yfirborðs og lofthjúps jarðar sýna í grófum dráttum sömu hitafarsbreytingar. Samkvæmt hitastig síðustu þúsunda ára eru nútíma hitastigsbreytingar á 20. öldinni ekki óvenjulegar. Ekki eru bein tengsl við NAO og hitastig hér við land, NAO getur bæði verið jákvætt og neikvætt í köldum árum og öfugt. Náttúrulegar sveiflur eru miklar hér við land.

Ekki er eining meðal vísindamanna um þátts náttúrulegs breytileika veðurfars annars vegar og losun gróðurhúsalofttegunda mannkyns hinsvegar á hlýnun jarðar og hvað sé megin orsök hnattrænna veðurfarsbreytinga.

Lykilorð: hlýnun jarðar, gervitunglamælingar, lofthjúpur jarðar, veðrahvolf, náttúrulegar hitastigsbreytingar, NAO.

Enskt heiti: The relation between temperature in Iceland and global temperature changes and NAO in the period 1961-2009

Þakkarorð

Ég vil þakka Guðrúnu Gísladóttur fyrir að vera leiðbeinanda minn í verkefninu.

Ég vil einnig þakka Guðrúnu Þórunni Gísladóttir og Halldóri Björnsyni hjá Veðurstofu Íslands fyrir nýjustu árshitagögn og fyrir það að svara spurningum varðandi verkefnið.

Efnisyfirlit

Yfirlýsing.....	ii
Ágrip.....	iii
Þakkarorð.....	iv
Efnisyfirlit.....	v
Myndaskrá	vi
1 Inngangur.....	1
2 Hitastig í lofthjúpi jarðar	3
2.1. Þættir sem hafa áhrif á hitastig.....	3
2.1.1. Eldgos, vindur og athafnir manna	4
2.2. Mælingar á meðalhita jarðar.....	5
2.2.1. Mælingar á meðalhita jarðar með gervitunglum	7
2.3. Ósamræmi í hnattrænum hitastigsmælingum.....	8
3 Lega Íslands og veðurfar	10
3.1. Langtíma veðurfarsrannsóknir.....	11
3.2. Norður-Atlantshafssveiflan, NAO.....	12
4 Gögn og aðferðir.....	14
4.1 Svæðislýsing.....	15
5 Niðurstöður.....	17
6 Túlkun og umræður	20
7 Heimildaskrá.....	24

Myndaskrá

Mynd 1. Hitastig allt að 120 km ofar jörðu.....	3
Mynd 2a. Hnatrænt hitafrávik árin 1880-2008.....	6
Mynd 2b. Hnatrænt hitafrávik árið 2008.....	6
Mynd 3. Hitastig yfirborðs og lofthjúps 2002-2008.....	7
Mynd 4. Hnatrænt hitastig yfirborðs og lofthjúps árin 1958-2002.....	8
Mynd 5. Hnatræn spá um þróun hitastigs fram að árinu 2100.....	9
Mynd 6. Hiti í Stykkishólmi 1798 til 2006.....	11
Mynd 7. Hitastig síðustu 2000 ára.....	12
Mynd 8. Hafsstraumar á Norður-Atlantshafi.....	15
Mynd 9. Staðsetning valinna hitamælingarstöðva á Íslandi.....	16
Mynd 10. Árshitastig árin 1961-2008 fyrir fimm íslenskar stöðvar.....	17
Mynd 11. NAO og meðalárshiti í Stykkishólmi 1961-09.....	19
Mynd 12. NAO og meðalvetrarhiti í Stykkishólmi árin 1961-09.....	19

1 Inngangur

Kenningin um hlýnun jarðar (e. global warming) vegna aukinna gróðurhúsaáhrifa af mannavöldum hefur fengið mikla athygli af vísindamönnum, fjölmiðlum og öðrum. Talið er af mörgum að það muni halda áfram að hlýna í framtíðinni og hafa alvarlegar afleiðingar í för með sér fyrir heimsbyggðina ef ekkert verður að gert. Menn eru þó ósammála um margt í þessum málum. Vegna staðsetningar Íslands á mörkum kaldra og hlýrra haf- og loftstrauma þá er landið viðkvæmt fyrir breytingum í haf- og loftstraumum og er þess vegna áhugavert svæði í veðurfarsrannsóknum. Í þessari ritgerð er markmiðið að skoða hnattrænt hitastig og skoða hitastig á Íslandi sérstaklega. Tilefni ritgerðarinnar er bæði persónulegur áhugi og kynni mín á ólíkum framsetningum veðurfarslegra gagna.

Í ritgerðinni verður reynt að svara eftirfarandi spurningum: Hver eru tengsl milli hnattrænar hitastigsbreytingar og hitastig á Íslandi á tímabilinu 1961-2009? eru þær breytingar óvenjulegar miðað við söguleg vísbendingagögn (e. paleo proxy data)? Hver eru tengsl Norður-Atlantshafssveiflunnar (e. North Atlantic Oscillation - NAO) við hitastig á Íslandi?

Áhyggjur manna vegna aukins styrks gróðurhúsalofttegunda í lofthjúpnnum varð til þess að alþjóðleg nefnd var stofnuð árið 1988 sem heitir Milliríkjanefnd Sameinuðu þjóðanna um loftlagsbreytingar. Á ensku heitir nefndin Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) og miðlar þekkingu á veðurfari til stefnumótenda og ríkisstjórna (Halldór Björnsson o.fl., 2008). Megin niðurstaða fjórðu úttektar IPCC (2007) er að aukning á gróðurhúsalofttegundum af mannavöldum er meginorsök þeirrar hækkunar á meðalhita jarðar sem hefur átt sér stað frá miðri síðustu öld. Úttektin segir að það hafi hlýnað um 0,74 °C hnattrænt á árunum 1906-2005 og það hlýnaði meira yfir landi miðað við sjó.

Undanfarin ár hafa vísindamenn víða um heim (Michaels, 2005; Singer, 2008; U.S. Senate, 2009) látið í ljós efasemdir um niðurstöðu IPCC, orsök hnattrænar hlýnunar og umfang hennar. Eitt stærsta vandamálið meðal vísindamanna er sá munur sem hefur mælst á hnattrænum meðalhita yfirborðs og í lofthjúpi jarðar (NRC, 2000; Remote Sensing Systems, 2009; Spencer, & Christy, 1990; UAH, 2009). Gervitunglagögn hafa sýnt hnattræna kólnun frá árinu 2002 (D'Aleo, 2009).

Þrátt fyrir þessa kólnun eru menn almennt sammála um að síðustu þrjá áratugi hafi hlýnað hnattrænt við yfirborð jarðar (Balling, 2005; IPCC, 2007; Hansen, 2009).

Nýlega hafa verið gerðar rannsóknir á setkjörnum á og við Ísland (t.d. Áslaug Geirsdóttir, Miller, G.H., Thorvaldur Thordarson & Kristín B. Ólafsdóttir, 2009; Jón Eiríksson o.fl., 2006; Massé o.fl., 2008) en einnig ískjörnum úr Grænlandsjökli (Meeker og Mayewski, 2002). Þær rannsóknir sýna þróun hitastigs þúsundir ára aftur í tímann. Í fortíðinni voru stærri breytingar í veðurfari en mælt hafa síðustu 100 ár (Meeker og Mayewski, 2002). NAO hefur mikil áhrif á veðurfar á og við Norður Atlantshaf, sérstaklega að vetri til (Áslaug Geirsdóttir o.fl., 2009; Visbeck, M.H., Hurrell, J.W., Polvani, L. & Cullen, H.M., 2001).

Markmið ritgerðarinnar er að skoða þessa hluti og setja í samhengi við hitastig á Íslandi árin 1961-2009. Hitastig hnattrænt og á Íslandi síðustu 100 ára hefur haldist að einhverju leyti í hendur (Áslaug Geirsdóttir o.fl., 2009). Samanburður hitamælinga fimm stöðva á Íslandi, Akureyrar, Grímsstaði, Reykjavíkur, Stórhöfða og Stykkishólms við hnattrænt hitastig ætti því að sýna tengsl en hafa verður í huga að náttúrulegar breytingar eru miklar á og við Ísland. Í ritgerðinni verður hitastig á Íslandi borið saman við meðalhitastig jarðar og vísbendingargögnin. Einnig verða áhrif af NAO skoðuð og reynt að finna tengsl við hitastig á Íslandi fyrir tímabilið 1961-2009.

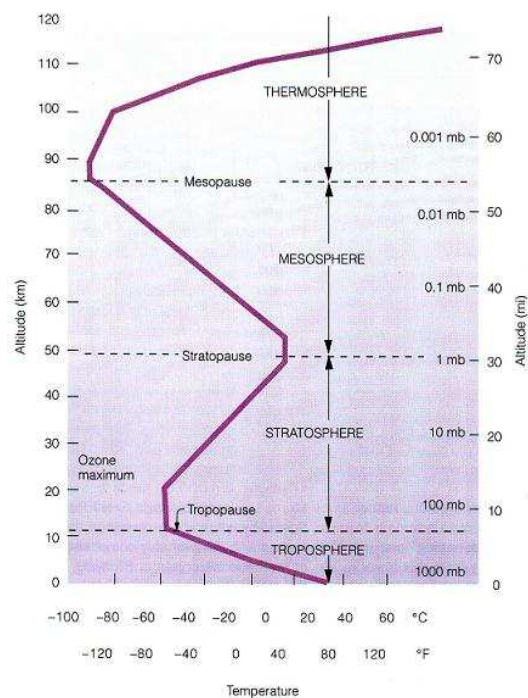
Ritgerðin er byggð upp á eftirfarandi hátt. Að loknum inngangi er gerð grein fyrir áhrifum lofthjúpsins til hitnunar, hnattrænar hitastigsbreytingar og misræmi hitastigs yfirborðs og í sjálfum lofthjúpunum. Nákvæmar upplýsingar um hitastig jarðar eru nauðsynlegar til að geta borið saman við líkön (Christy & Spencer, 1990). Í þriðja kafla er sérstöðu Íslands lýst, NAO og áhrif við landið, staðsetningu og langtíma veðurfarsrannsóknum. Ísland er áhugavert svæði til rannsókna því þar eru miklar breytingar í veðurfari og litlar breytingar í sjávar- og vindstraumum koma vel fram þar (Áslaug Geirsdóttir o.fl., 2009; Halldór Björnsson o.fl., 2008). Í fjórða kafla eru gögnum og aðferðum sem notaðar voru við rannsóknina lýst. Í fimmta kafla eru dregnar saman helstu niðurstöður og að lokum eru túlkun og umræður í sjötta kafla.

2 Hitastig í lofthjúpi jarðar

Lofthjúpurinn er lífsnauðsynlegur öllu lífi jarðar. Ef hann nyti ekki við þá væri meðalhiti jarðar -18 °C en ekki $+15\text{ °C}$ (Ahrens, 2000). Hann hefur svipuð áhrif og gróðurhús vegna þess að orka í geislum sólar safnast fyrir í lofthjúpunum. Lofthjúpurinn verndar gegn hættulegum útfjólubláum geislum frá sólinni og gegn efnunum sem koma frá geimnum.

2.1. Þættir sem hafa áhrif á hitastig

Andrúmsloftið er hlutfallslega þunn hula miðað við stærð jarðar og liggur utan um alla jörðina. Um 50 % af andrúmsloftinu er innan við 5 til 6 km frá yfirborði jarðar, hæst í hitabeltinu en lægst á heimskautasvæðunum og 95 % af öllu efni er fyrir neðan rúmlega 20 km frá yfirborði jarðar (Trausti Jónsson, 2008). Á mynd 1 eru sýnd lög eða hvolf lofthjúpsins og ræður meðalhiti mestu um þá skiptingu (Ahrens, 2000).



Mynd 1. Hitastig allt að 120 km ofar jörðu. Hér eru sýnd hvolf andrúmsloftsins og er hitastig á ásnum neðst. Hæð í kílómetrum er sýnt á ásnum til vinstri en ásin til hægri sýnir hæð í mílum ásamt loftþrýstingi. Heimild: Ahrens (2000, bls. 12).

Í umræðu um gróðurhúsaáhrif, varmaflutning og veðurfar skipta mestu máli þau ferli

sem gerast í veðrahvolfinu (e. troposphere) (Trausti Jónsson, 2008).

Nauðsynlegt er að greina á milli náttúrulegra og manngerðra gróðurhúsaáhrifa (Bernes, 1996; Tómas Jóhannesson & Trausti Jónsson, 1994). Náttúruleg áhrif verða vegna náttúrulegra lofttegunda sem alltaf hafa verið til staðar í andrúmslofti jarðar eins og vatnsgufa, CO₂ og aðrar lofttegundir sem gleypa í sig varmageislun frá jörðinni. Manngerð gróðurhúsaáhrif eru vegna aukinnar losunar á CO₂, hláturgasi, metani auk annarra efna og eru því viðbót við hin náttúrulegu gróðurhúsaáhrif. Samkvæmt IPCC (2007) losar maðurinn mest af CO₂ og hefur það því mest áhrif á lofthjúpin, m.a. til hlýnunar. Mikil umræða á sér stað, sérstaklega á síðustu árum um hversu stórt hlutverk CO₂ hefur haft í hnattrænni hlýnum (Michaels, 2005; Singer, 2008).

2.1.1. Eldgos, vindur og athafnir manna

Til náttúrulegra áhrifa teljast m.a. eldgos og vindur. Rykagnir og brennisteinssambönd í lofthjúpinum geta haft áhrif á orkuflæði í gegnum lofthjúpin. Þau hafa yfirleitt kælandi áhrif á loftslag og eru talin líkleg skýring á hvers vegna hlýnun vegna gróðurhúsalofttegunda stöðvaðist á 5. áratug síðustu aldar (Tómas Jóhannesson & Trausti Jónsson, 1994; Bernes, 1996). Self, Widdowson, Thordarson & Jay (2006) töldu að brennisteinsútsreymi í einu stóru sprungugosi, sem stóð yfir í áratug eða meir, gæti haft mikil og kælandi áhrif á lofthjúpin en hinsvegar myndi útsreymi CO₂ hafa óveruleg áhrif til hitnunar því lítið myndi bætast við magnið sem þegar væri í andrúmsloftinu. Thordarson og Self (2003) skoðuðu áhrif brennisteinsryks sem lá yfir norðurhveli jarðar í meira en 5 mánuði vegna Lakagígaeldgossins á Íslandi árið 1783-1784. Óvenjulegt veðurfar varð í kjölfarið í Evrópu og N-Ameríku og þar kólnaði að meðaltali um 1,3 °C næstu 2-3 árin. Orsökina töldu þeir vera rykagnir í efra veðrahvolfi og neðra heiðhvolfi af völdum eldgossins sem höfðu truflandi áhrif á hitajafnvægi norðurpólsins næstu tvö sumur.

Samkvæmt Ward (2009) þá er brennisteinsdíoxíð (SO₂), af völdum eldgosa og athafna manna meginorsök hnattrænna veðurfarsbreytinga en CO₂ hefur minni áhrif. Stærsta eldgos síðustu 95 ára átti sér stað í eldfjallinu Pinatubo á Filipseyjum árið 1991. Það gos bætti einungis um 0,23 ppm af efnunum við lofthjúpin, einkum vatni, og minnkaði inngeslun sólar efst í lofthjúpinum um 2,5 W/m². Afleiðingin varð að meðalhiti við yfirborð jarðar lækkaði um 0,5 °C næstu þrjú árin (Ward, 2009). Wards

telur að til að draga úr hnattrænni hlýnun og súru regni þá ættu menn að leggja megináherslu á að minnka brennisteinsdíoxíð.

Borkjarnar úr jöklum, mýrum og vötnum geta gefið upplýsingar um veðurfarssögu jarðar. Komið hefur í ljós að á ísöldum hefur rykmengun verið mikil í lofthjúpnunum og er talið að vindur hafi verið orsök og aukið kulda jökulskeiðanna (Tómas Jóhannesson & Trausti Jónsson, 1994).

2.2. Mælingar á meðalhita jarðar

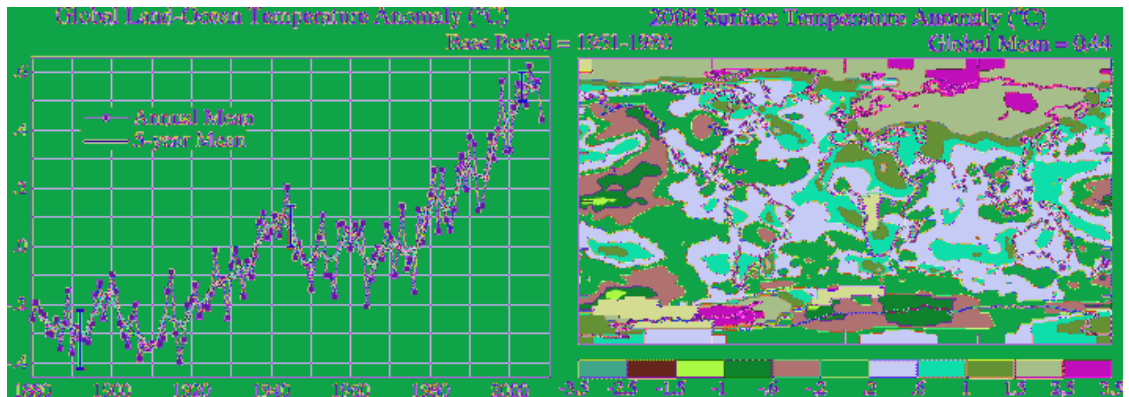
Yfirborðsmælingar hafa verið gerðar staðbundið en einnig hnattrænt. Balling, Vose, og Weber (1998) tóku saman hitamælingar fyrir 57 Evrópskar stöðvar sem gerðar voru árin 1751-1995 en Evrópa er eina svæðið í heiminum með hlutfallslega víðtækar mælingar gerðar með hitamælum. Þeir sýndu að Evrópa hafði hlýnað um 0,58 °C á síðustu 250 árum en öll hlýnunin átti sér stað á árunum 1890 til 1950 og mest yfir vetrarmánuðina. Balling telur að aukin sólargeislun hafa orsakað þessa hlýnun, en hún jókst frá 1365,5 W/m² í 1366,5 W/m² á sama tímabili. Þótt sumar staðbundnar mælingar eins og í Evrópu sýna litla eða enga hlýnun þá eru vísindamenn almennt sammála um að hlýnað hefur hnattrænt við yfirborð jarðar síðustu þrjá áratugi (Balling, 2005; IPCC, 2007; Hansen, 2009).

Samkvæmt IPCC (2007) hefur hlýnað um 0,74 [0,56-0,92] °C á árunum 1906-2005 og hefur hlýnað meira yfir landi en sjó. Ein megin niðurstaða fjórðu úttektar IPCC (2007) er þannig lýst:

Meirihluti þeirrar hækkunar á meðalhita jarðar frá um miðja síðustu öld er mjög líklega vegna aukningar á gróðurhúsalofttegundum af mannavöldum. Líklegt sé að það hafi átt sér stað veruleg hlýnun af mannavöldum síðustu 50 ár að meðaltali á öllum meginlöndum nema á Suðurheimskautslandinu (IPCC, 2007, bls. 5).

Á árunum 1981-2005 hlýnaði um 0,18 °C á áratug sem er um tvöföld meðalhlýnun hvers áratugar síðustu 100 ára (Halldór Björnsson o.fl., 2008).

Árið 2008 var það níunda hlýjasta frá upphafi yfirborðsmælinga frá árinu 1880 samkvæmt NASA (Hansen, 2009). Á mynd 2a og 2b eru sýnd hitafrávik fyrir árin 1880-2008 og 2008 miðað við tímabilið 1951-1980.



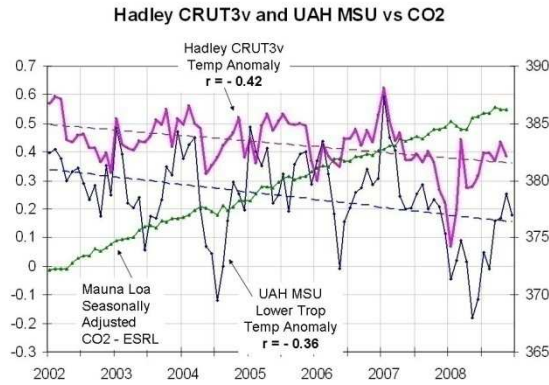
Mynd 2a og 2b. Hnatrænt hitafrávik árin 1880-2008 (2a) og 2008 (2b). Hitastig miðast við meðalhita á tímabilinu 1951-1980. Heimild: Hansen (2009).

Hljústu tíu árin frá árinu 1880 lenda innan 12 ára tímabilsins 1997-2008 (sjá mynd 2a). Árið 2008 var að meðaltali 0,44 °C hlýrra að meðaltali á jörðinni (sjá mynd 2b) en var hinsvegar það kaldasta frá árinu 2000 (Hansen, 2009).

Hnatrænar yfirborðsmælingar eru í meginatriðum í samræmi við líkön (Balling, 2005). Ýmis vandamál er þó hægt að finna tengd hnatrænum yfirborðsmælingum og má nefna ójafna landfræðilega dreifingu mælistöðva, áhrif þéttbýlismyndunar, eyðimerkurmyndun, breytingar í mælitækjum o.fl. Alls geta þessi vandamál numið 0,2-0,3 °C sem er um einn þriðji hluti mældrar hlýnunar. Engu að síður benda gögn til hlýnunar síðustu þrjá áratugi (Balling, 2005).

Söguleg vísbendingagögn (e. paleo proxy data) geta sýnt þróun veðurfars sem nær yfir lengra tímabil en hefðbundnar mælingar, jafnvel árbúsundir. Margar þannig tímaraðir hafa verið gerðar bæði svæðisbundnar og hnatrænar (Loehle, 2007). Loehle (2007) sýndi feril sem sýnir meðaltalshita fyrir 18 mælingaraðir síðustu 2000 árin. Raðirnar byggja ekki á áhringjum trjáa því Loehle telur þá vera ónákvæmann mælikvarða því vöxtur trjáa fer eftir mörgu öðru en hitastig t.d. aukna upptöku CO₂. Ferillinn hans sýnir Litlu ísöldina greinilega og á Hljúju miðöldunum var um 0,3 °C hlýrra miðað við hita á sömu 18 stöðunum á 20. öldinni. Niðurstaða Loehle sýnir Hljúju miðaldirnar voru heldur hlýrri en aðrar rannsóknir en að öðru leyti eru hitasveiflur svipaðar í öðrum sambærilegum rannsóknum (Loehle, 2007).

Bæði gervitunglagögn og yfirborðsgögn sýna að frá árinu 2002 hefur hitastig lækkað lítilega hnatrænt (D'Aleo, 2009). Á mynd 3 má sjá þessa hitastigsþróun.



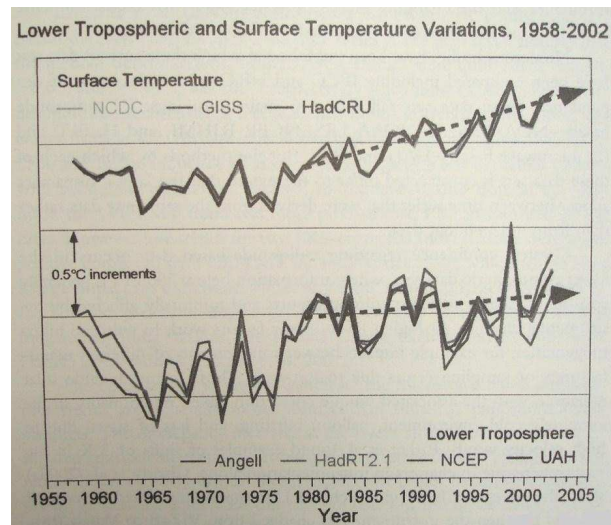
Mynd 3. Hitastig yfirborðs og lofthjúps 2002-2008. Ferlarnir sýna frávik í mánaðarhita hnattrænt og græni ferillinn sýnir mánaðarlega aukningu CO₂. Heimild: D'Aleo (2009).

2.2.1. Mælingar á meðalhita jarðar með gervitunglum

Nákvæmar hnattrænar hitastigsmælingar eru nauðsynlegar til að mæla líklega hlýnun vegna gróðurhúsaáhrifa, til að bera saman við hnattræn veðurfarslíkön úr tölum og til þess að skilja mikilvæga þætti í veðurfari jarðar (Spencer & Christy, 1990). Kostur gervitunglamælinga er að þær geta þakið nánast alla jörðina á litlum tíma, mælt hita í mismunandi hæð í lofthjúpunum og geta mælt með meiri þéttleika en mögulegt er með yfirborðsmælingum. Hitastig lofthjúpsins, frá veðrahvolfinu og upp í heiðhvolfið, hefur verið mælt með NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) gervitunglum frá árinu 1978 og ferðast þau um pólana (Christy, 2005). Hitastig er fundið með því að mæla innrauða geisla sem súrefni í lofthjúpunum sendir frá sér (Spencer & Christy, 1990; Remote Sensing Systems, 2009).

Gervitunglin frá NOAA hafa verið mikilvægustu gervitunglagögnin fyrir hitastig síðustu tvo áratugi (RSS, 2009). Tvær stofnanir, University of Alabama in Huntsville (UAH) og Remote Sensing Systems (RSS), hafa notað sömu frumgögn úr gervitunglunum (Christy, 2005). Gervitunglagögnunum er vel lýst af Christy (2005) og villur í þeim hafa verið leiðréttar. Niðurstöður UAH (2009) fyrir tímabilið 1978-2009 er sýnir 0,13 °C hlýnun á áratug fyrir neðri hluta veðrahvolfsins (UAH, 2009). Mest hefur hlýnað á þriðjungi norðurhluta jarðar en nánast enginn hlýnun hefur átt sér stað í hitabeltinu (UAH, á.á.). RSS (2009) greinir hlýnun upp á 0,155 °C á áratug fyrir sama tímabil sem einnig er fyrir neðri hluta veðrahvolfsins en auk þess eru hitastig mælt fyrir önnur lög lofthjúpsins.

Á mynd 4 eru sýndir ferlar fyrir hitastig jarðar, bæði yfirborð og neðra veðrahvolf.



Mynd 4. Hnattrænt hitastig yfirborðs og lofthjúps árin 1958-2002. Heimild: Christy (2005).

Ferlarnir á mynd 4 sýna sögu hitastigs árin 1958-2002. Mikil árlegur breytileiki er á hitastigi veðrahvolfsins (neðri ferillinn), El Nino veldur hlýnun (hátt hitastig 1998) og La Nina og stór eldgos (t.d. Pinatubo 1991-92) valda kólnun (Christy, 2005).

IPCC spáir því að í framtíðinni muni hlýna um 0,6 °C fram að árinu 2100 þótt styrkur gróðurhúsalofttegunda myndi vera sá sami og á árinu 2000. Líklegra er að það muni hlýna meira samkvæmt IPCC og að hún verði fyrstu 0,2 °C á áratug fyrstu þrjá áratugi aldarinnar. Þeim mun meira sem er losað af gróðurhúsalofttegundum, þeim mun meiri hlýnun (Halldór Björnsson, o.fl., 2008).

2.3. Ósamræmi í hnattrænum hitastigsmælingum

Munur er á þróun hitastigs í neðra veðrahvolfinu og á yfirborði jarðar (sjá mynd 4). Sá munur hefur verið rannsakaður, meðal annars af IPCC og National Research Council (NRC) (Christy, 2005). NRC (2000) fékk það hlutverk að skoða þennan hitastigsmun og benda þeir á að á síðustu 20 árum hefur yfirborðshiti jarðar hækkað um 0,25 – 0,4 °C á meðan gervitunlagögn sýna hlýnun upp á 0,0-0,2 °C í neðra veðrahvolfi fyrir sama tímabil. NRC (2000) bendir á að veðurkannar (e. radiosondes) hafa tilhneigingu til að styðja gervitunlagögn. Samkvæmt NRC (2000) er líklegt að veðrahvolfið hafi hitnað minna en yfirborð jarðar frá 1979 þar til seint á 10. áratuginn vegna náttúrulegra (t.d. eldgos) og mannglegra orsaka (kæling í

efri hluta veðrahvolfsins vegna minni styrks ósons í heiðhvolfinu).

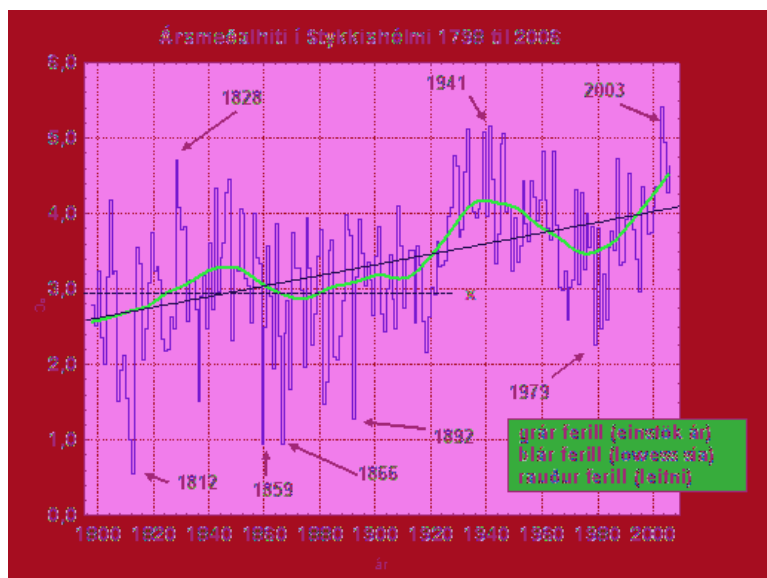
Þessi munur í hitastigsgögnum hefur verið mikið í umræðunni hjá vísindamönnum sem efast um orsök hlýnun jarðar og stærð hennar (Michaels, 2005; Singer, 2008; U. S. Senate, 2009). Líkön sem spá hlýnun við yfirborð jarðar, spá jafnvel meiri hlýnun í neðra veðrahvolfinu, því ætti að hafa mælst meiri hlýnun þar (Christy, 2005; NRC, 2000).

Árið 2008 var skýrsla gefin út af nefnd sem ber heitið Nongovernmental International Panel on Climate Change (NIPCC) og var ætluð að vera mótvægi við IPCC. NIPCC komst að þeirri niðurstöðu að gróðurhúsalofttegundir af mannavöldum hafi lítil áhrif og náttúrulegir þættir, eins og sólin, vatnsgufa og höfin, ráði mestu um veðurfar jarðar. NIPCC bendir einnig á það að skilningur á orsökum og áhrifum loftlagsbreytinga er takmarkaður (Singer, 2008).

3 Lega Íslands og veðurfar

Veðurfar við Ísland ræðst að miklu leyti af legu landsins í Norður-Atlantshafi. Vegna staðsetningar landsins á mörkum kaldra og hlýrra haf- og loftstrauma þá er Ísland viðkvæmara fyrir breytingum í haf- og loftstraumum. Litlar breytingar á haf- og loftstraumum hafa því mikil áhrif á veðurfar (Áslaug Geirsdóttir o.fl., 2009). Staðbundnar sveiflur geta styst út þegar hnattrænt meðaltal er reiknað en það gerist ekki þegar eingöngu lítill hluti af yfirborði jarðar er skoðaður eins og Ísland. (Trausti Jónsson, 2008).

Mælingar í Stykkishólmi hafa sýnt hlýnun á 4. áratugnum og einnig á 9. og 10. áratugnum (Trausti Jónsson, 2007). Þessar breytingar koma einnig fram í hnattrænum hita og því er hitastigsþróun á Íslandi í samræmi við hnattræna árlega aukningu hitastigs síðustu 100 ára (Áslaug Geirsdóttir o.fl., 2009). Á mynd 5 má sjá hitastig í Stykkishólmi á árunum 1798-2006.



Mynd 5. Hiti í Stykkishólmi 1798 til 2006. Hnattrænt hitastig yfirborðs og lofthjúps. Heimild: Trausti Jónsson (2007).

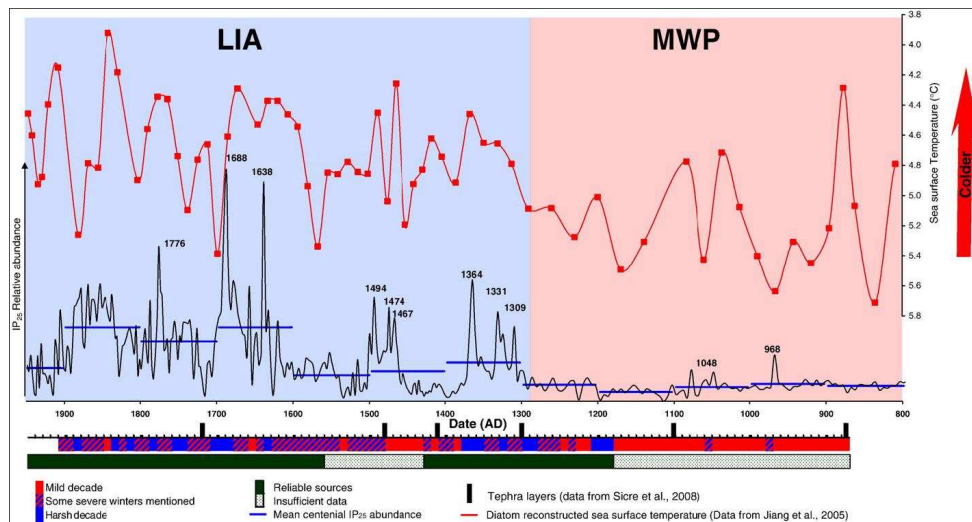
Hitasveiflur sem sýndar eru á línuritinu taka í aðalatriðum til landsins alls. Tvenns konar þróun á hitastigi sem hægt er að lesa úr línuritinu og eru sýndar með tveimur rauðum ferlum. Leitnin upp á við á öllu tímabilinu er tæp 0,7 °C (Trausti Jónsson, 2007).

Árlegur meðalhiti jókst um 1,2 °C á síðustu öld í Stykkishólmi á sama tíma og

árlegur hnattrænn meðalhiti jókst um 0,8 °C og jafnvel meiri hlýnun varð á norðurhveli. Hitastigsbreytingarnar eru í samræmi við hvort annað (Áslaug Geirsdóttir o.fl., 2009).

3.1. Langtíma veðurfarsrannsóknir

Nýlega hafa verið gerðar rannsóknir á setkjörnum sem teknir voru í vötnum og í sjónum umhverfis landið og undan Vestur Evrópu. Þær rannsóknir hafa gefið hitastig fyrir síðustu þúsundir ára með því að nota söguleg vísbendingagögn (e. paleo proxy data). Massé o.fl. (2008) fundu út hversu oft hafís var til staðar síðustu 1000 árin með því að skoða efnisfræðilegan steingerving (IP₂₅) í setkjarna sem hafíspörungar mynda. Setkjarninn var tekin úti fyrir Norðurlandi. Það kom í ljós að sterk tengsl voru á milli steingervingsins og tilveru hafís samkvæmt sögulegum gögnum. Á mynd 6 má sjá hitastig síðustu 2000 ára sem fékkst í rannsókninni.



Mynd 6. Hitastig yfirborð sjávar síðustu 2000 ár. Rauði ferillinn sýnir hitastig sem fengin var frá tveggja atóma sameindum. Svarti ferillinn sýnir hlutfallslegt magn IP₂₅. Neðst er sýnd útbreiðsla hafís fengin úr sögulegum heimildum. Heimild: Massé o.fl. (2008, bls. 567).

Þessar niðurstöður sýna miklar breytingar á útbreiðslu hafís og í veðurfari, sérstaklega á tíma Litlu Ísaldarinnar en þá var töluvert kaldari sjór en á miðöldum.

Jón Eiríksson o.fl. (2006) tóku saman áreiðanlegar rannsóknir sem gerðar hafa verið á sjávarseti nálægt ströndum Vestur Evrópu sem sýna breytingar í hafinu síðustu 2000 árin. Staðirnir þar sem rannsóknir hafa farið fram eru við Portúgal, Skotland, Noreg og Ísland. Sumar mælingar sýna hlýnun hafsins síðustu 200 árin en að öðru leyti virðist tuttugasta öldin ekki vera óvenjuleg þegar horft er til síðustu

2000 ára.

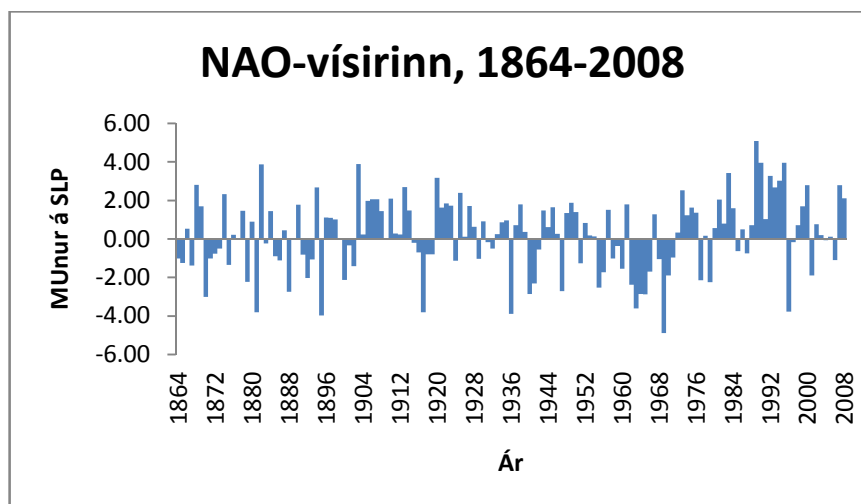
Almennt er hægt að tengja herra hitastig og aukna úrkomu við aukna efnaveðrun og styrks CO₂ í andrúmsloftinu. Sigurður R. Gíslason o.fl. (2009) sýndu fram á aukna efna- og aflveðrun á N-Austurlandi á 44 ára tímabili. Niðurstöður þeirra sýna annars vegar að marktæk svörun er á milli veðurfars og veðrunar á yfirborði jarðar. Hins vegar benda niðurstöðurnar til þess að hraði veðrunar sé að aukast með tíma vegna hnattrænnar hlýnunar.

Setlög í vötnum á Íslandi geyma sögu veðurfars síðustu 2000 ára. Áslaug Geirsdóttir o.fl. (2009) sáu hitabreytingar eins og Hlýju miðaldirnar og Litlu ísöldina með því að skoða set í Haukadalsvatni. Axford, Áslaug Geirsdóttir, Miller, & Langdon (2009) gerðu rannsókn á rykmýi í Breiðadalsvatni og fundu að kaldast var á 18. og 19. öld við Ísland en það var á þeim tíma sem sögulegar heimildir benda til mestrar útbreiðslu jökla og hafíss.

Meeker og Mayewski (2002) báru saman gögn sem sýna jónaseríur úr ískjarna úr Grænlandsjökli og mælingar á loftþrýstingi Íslandslægðarinnar og Síberíuhæðarinnar. Þessi samanburður var notaður til að reikna út veðurfar síðustu 1400 árin. Niðurstöður Meeker og Mayewski sýna miklar breytingar á styrk Íslandslægðarinnar og Síberíuhæðinnar á 15. öld. Einnig kom í ljós veðurfarssveiflur sem eru áratuga- og hundruð ára langar og hugsanlegt hlutverk sólar á veðurfar.

3.2. Norður-Atlantshafssveiflan, NAO

Veðurfar við Ísland ræðst að miklu leyti af Norður Atlantshafssveiflunni (NAO) og kemur hún fram sem munur á loftþrýstingi milli Íslandslægðarinnar og Azoreyjarhæðarinnar. Á veturna hefur NAO hefur áhrif á stóru svæði, frá Florída til Grænlands og frá Norðvestur Afríku yfir Evrópu og langt inn í Asíu (Visbeck o.fl., 2001). Á mynd 7 er NAO-vísirinn sýndur en hann er mismunur milli loftþrýstings í Stykkishólmi og Lizzabon í Portúgal.



Mynd 7. NAO-vísirinn frá 1864. Hæð súlnanna sýna mun á loftþrýsting við yfirborð sjávar (SLP) milli Stykkishólms og Lissabon, Portúgal, við yfirborð sjávar. Heimild: NCAR (2008).

NAO er öflugastur á veturna og því oftast tekið meðaltal af mánuðunum desember, janúar, febrúar og mars en það er gert í mynd 7.

Áslaug Geirsdóttir o.fl. (2009) töldu vera tengsl á milli lífræna efna í seti í Haukadalsvatni og NAO. Mikið af lífrænu efni var talið vera afleiðing kaldara og vindasamara veðurs. Líklegast gerist það þegar NAO er í jákvæðum fasa en þá er hiti undir meðallagi við Ísland og vestlægir vindar öflugir en þannig var það líklega á Litlu Ísöldinni.

Tengsl hafa verið gerð á milli hitastigs í sjónum og NAO. Sicre o.fl. (2008) fundu breytileika í hitastigi yfirborðs sjávar síðustu 2000 ár sem orsökudust af breytingum í sjávarstraumum. Samkvæmt Sicre o.fl. (2008) er talið hugsanlegt að NAO hafi orsakað þessar breytingar í sjávarstraumum. Einnig hefur verið sýnt fram á tengsl milli hitastigs á Grænlandi og NAO fyrir tímabil sem ná allt að 350 ár aftur í tímann (Meeker og Mayewski, 2002). NAO hefur verið tengt við hitastig og úrkomu á Austurströnd Bandaríkjanna (Oman, 2006).

Síðustu þrjú áratugi hefur NAO sveiflast úr því að vera að mestu í neikvæðum fasa yfir í fasa sem er að mestu jákvæður. Sú breyting virðist vera meiri og óvenjulegri en dæmi er um á tíma hefðbundinna veðurathugana. Vísindamenn eru ekki sammála um orsakir breytinganna en það virðist líklegra en áður að athafnir manna hafi áhrif (Visbeck o.fl., 2001).

4 Gögn og aðferðir

Vegna mikils náttúrulegs breytileika veðurfars við Ísland er erfitt að spá fyrir um nákvæma þróun hitastigs í framtíðinni (Trausti Jónsson, 2008). Hitastigsþróun á Íslandi hefur þó verið í samræmi við hnattræna árlega aukningu hitastigs síðustu 100 ára (Áslaug Geirsdóttir o.fl., 2009). Því er hægt að sjá hnattræna þróun hitastigs í grófum dráttum í hitastigsgögnum hér á landi.

Til þess að sjá hvort þróun hitastigs á Íslandi hefur haldist í hendur við hnattrænar hitastigsbreytingar þá var notast við hitastig frá fimm veðurathuganastöðvum á Íslandi. Hitastig frá stöðvunum var borið saman við birt gervitunglagögn en einnig við birt gögn um hitastig við yfirborð jarðar (sjá mynd 2a, mynd 3, mynd 4). Gervitunglagögn voru valin til samanburðarins vegna þess að þau eru talin gefa áreiðanleg hnattræn hitastigsgögn. Gervitungl geta mælt nær allan hnöttinn á stuttum tíma og með mikilli þéttni mælinga (Spencer & Christy, 1990). Einnig bendir NRC (2000) á að veðurkannar (e. radiosondes) hafa tilhneigingu til að styðja gervitunglagögnin.

Notast er við meðal árshitastig mælt með mælum við yfirborð jarðar á fimm stöðvum á Íslandi, Akureyri, Grímsstaðir, Reykjavík, Stórhöfði og Stykkishólmur. Hitastigsgögnin eru frá tímabilinu 1961-2008 (Veðurstofa Íslands, 2009). Þurfti sérstaklega að hafa samband við Veðurstofu Íslands til að fá nýjustu árshitamælingar fyrir 2007 og 2008 og voru þau fengin í tölvupósti. Stöðvarnar voru valdar þannig að þær voru hæfilega dreifðar en einnig þurftu þær að hafa langar og samfeldar tímaraðir. Stöðin Reykjavík ætti að sýna áhrif frá þéttbýli ef þau eru einhver en samkvæmt Balling (2005) er þéttbýlismyndun einn þeirra þátta sem getur haft áhrif á hitastig. NASA notar árshita til að skoða yfirborðshita jarðar frá árinu 1880 (Hansen, 2009). Því var ársmeðalhiti notaður til að skoða hitastig hér á landi til þess að sjá þróun hitastigs. Stórhöfði, Reykjavík, Stykkishólmur og Akureyri liggja allar við sjóinn sem hefur mildandi áhrif, þó í mismunandi mæli. Stöðin Grímsstaðir var valin til að sjá hitastig fjarri strönd. Meiri sveiflur eru yfirleitt á hitastigi inn til landsins en úti við sjóinn, hlýrra á sumrin en kaldara á veturna.

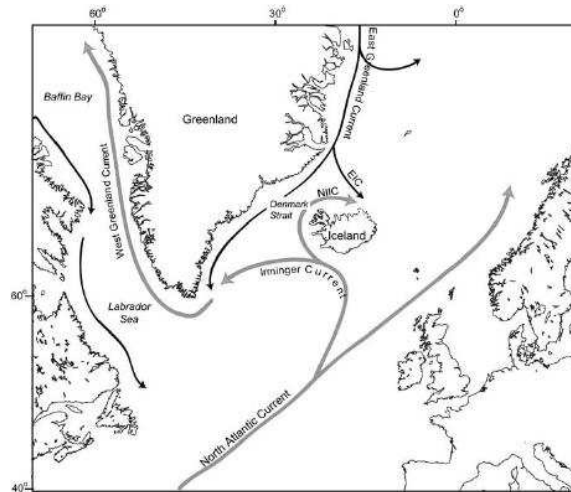
Árið 2008 var það kaldasta frá árinu 2000 (Hansen, 2009). Einnig hefur mælst kólnun samkvæmt gervitunglagögnum (D'Aleo, 2009). Skoðað var hvort þessi mælda kólnun kæmi hugsanlega fram. Einnig voru hitastig borið saman við birt

vísbendingagögn um hitastig síðustu þúsundir ára (t.d. Jón Eiríksson o.fl., 2006; Massé o.fl., 2008; Meeker og Mayewski, 2002). Með þeim hætti var hægt að sjá hvort núverandi hlýnun er óvenjuleg til lengri tíma litið.

Að lokum var NAO skoðað með tilliti til hitastigs og reynt að finna tengsl. Hiti var borin saman við NAO vísitöluna fyrir tímabilið 1962-2009. Loftþrýstingur á Stykkishólmi er notaður til að reikna út NAO-vísitöluna (sjá mynd 7) (NCAR, 2008). NAO er öflugastur yfir vetrarmánuðina og því er líklegast að finna tengsl á þeim tíma. Hitasveiflur á Stykkishólmi taka í aðalatriðum til landsins alls (Trausti Jónsson, 2007). Því var sú stöð valinn til að gera samanburðinn. Til að gera samanburðinn þá var reiknað út meðalhita vetrarmánuðina (desember, janúar, febrúar og mars) fyrir hvert ár með því að leggja saman meðalhitann fyrir hvern mánuð og deila með 4. Fyrsta árið var haft 1962 því hitastig fyrir desember árið 1960 var ekki í gagnasafninu. Meðalhiti var einnig fundið fyrir árið 2009 því hitatölur voru komnar fyrir þrjá fyrstu mánuði á því ári.

4.1 Svæðislýsing

Á mynd 8 má sjá legu Íslands og helstu hafsstrauma við landið.

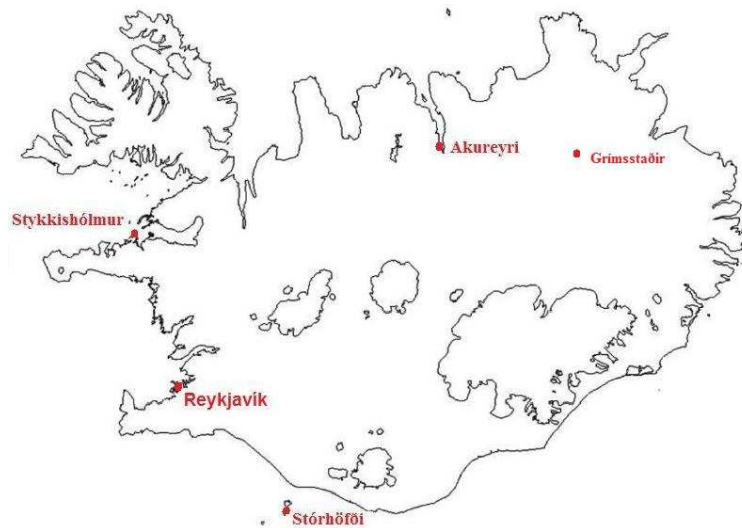


Mynd 8. Hafsstraumar á Norður-Atlantshafi. Heimild: Axford o.fl. (2009, bls. 9).

Þrír hafstraumar hafa áhrif við Ísland. Irmingerstraumurinn sem er hlýr og selturíkur og streymir upp að Íslandi úr suðri. Hann er hluti af Norður Atlantshafsstraumnum og streymir með vestur- og norðvestur strönd Íslands. Austur-Grænland og Austur-Íslandsstraumurinn eru kaldir og seltulitlir straumar sem flytja vatn að Íslandi frá

norðurskautinu (Massé o.fl., 2008). Hitastig sjávar við Ísland hefur verið breytilegt síðustu þúsundir ára (t.d. Sicre o.fl., 2008; Masse o.fl., 2008).

Staðsetning veðurstöðvanna fimm er sýnd á mynd 9.

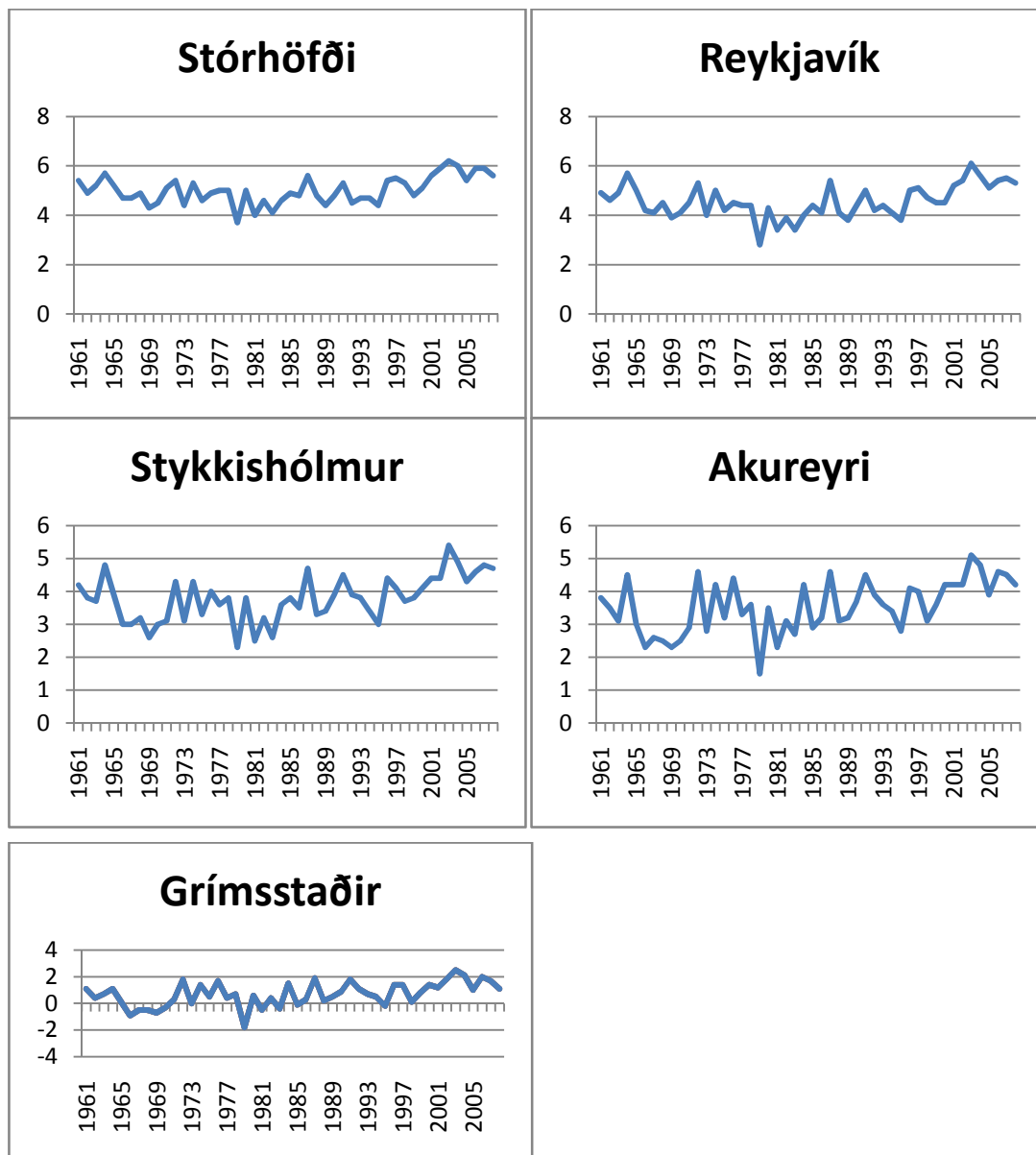


Mynd 9. Staðsetning valinna hitamælingastöðva á Íslandi.

Kaldur sjór úr Austur-Íslandsstraumnum hefur áhrif á Norðurlandi, þar með Akureyri. Hlýr sjór úr Irmingerstraumnum kemur upp að landinu sunnan og vestanverðu og hefur því áhrif á hitastig við Stórhöfða, Reykjavík og Stykkishólm (sjá mynd 8 og 9). Á Stórhöfða er veðurstöð og liggur hún í 118 m.y.s. á höfða syðst í Vestmannaeyjum. Sjór er þar allt í kring og mildandi áhrif Atlantshafsins gætir og veldur tiltölulega háum en stöðugum meðalhita. Veðurstöðin í Reykjavík liggur í 52 m.y.s. í miðju þéttbýli. Veðurstöðin í Stykkishólmi er staðsett í 13 m.y.s. og er á skaga sem skerst út í Breiðafjörð. Veðurstöðin á Akureyri liggur í 23 m.y.s. og er innst í Eyjafirði en þó við hafið. Grímsstaðir er staðsett inn til landsins á N-Austurlandi og liggur í 384 m.y.s. Upplýsingar um veðurstöðvarnar voru fengnar frá Veðurstofu Íslands (2009). Bæði Reykjavík og Stykkishólmur liggja á skaga sem skerst út í sjó og því hefur sjórinn mildandi áhrif þar.

5 Niðurstöður

Meðal árshitastig fyrir Stórhöfða, Reykjavík, Stykkishólm, Akureyri og Grímsstaði er sýnt á mynd 10.



Mynd 10. Árshitastig árin 1961-2008 fyrir fimm íslenskar stöðvar. Heimild: Veðurstofa Íslands (2009).

Þegar horft er á mynd 10 þá má sjá nokkurn landfræðilegan mun á árshita á tímabilinu 1961-2008. Sveiflurnar voru mestar á Akureyri á tímabilinu en minnstar á Stórhöfða. Má útskýra litlar sveiflur á Stórhöfða með mildandi og dempanði áhrifum frá sjónum sem liggur í kring. Á Akureyri eru meiri sveiflur á árshita vegna þess að

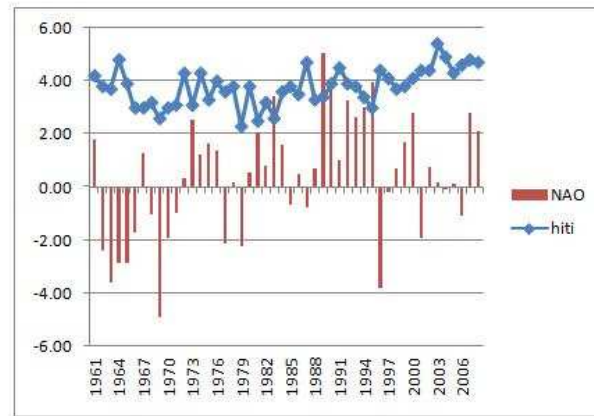
bærinn er staðsettur lengra inn í landi en aðrar stöðvar. Hitastig sveiflast mikið á milli sumars og veturs. Kaldasti árshitinn á Akureyri var 1,5 °C árið 1979 en hlýjast var 5,1 °C árið 2003. Áhrif frá þéttbýli í Reykjavík er líklega lítil því munur er lítil á hitasveiflum miðað við hitasveiflur á litlum þéttbýlisstað eins og Stykkishólmur. Mjög svipaðar sveiflur eru á Akureyri og Grímsstaði.

Samanburður á hitastig fyrir Ísland (sjá mynd 10) og hnattrænt hitastig yfirborðs og lofthjúps jarðar (sjá mynd 3 og mynd 4) sýnir að í grófum dráttum er hægt að sjá svipaðar hitasveiflur í hitafari. Það hlýnaði og kólnaði á sama tíma bæði hnattrænt og á Íslandi. Frá 8. áratugnum hefur hlýnað en fram að þeim tíma kólnaði. Á stöðvunum fjórum sést kuldakastið á 7. og 8. áratug síðustu aldar nokkuð greinilega, einkum þó á Stykkishólmi. Einnig hlýnaði á öllum stöðvum á 9. og 10. áratugnum eins og gerðist hnattrænt. Hæsta árshitastig allra stöðvanna mældist árið 2003. Á síðustu árum hefur hiti haldist stöðugt eða kólnað, hnattrænt frá árinu 2002 og á Íslandi frá árinu 2003. Þessar breytingar sjást hjá öllum íslensku stöðvunum og eru samkvæmt því sem hnattrænar mælingar á hitastigi sýna (sjá mynd 2a). Einnig er það samkvæmt nýjustu gervitunglamælingum sem sýna dálitla kólnun frá árinu 2002 (sjá mynd 3).

Samkvæmt óbeinum sögulegum rannsóknum á setkjörnum á og við Ísland þá er hlýnun frá 8. áratugnum við landið ekki óvenjuleg miðað við sveiflur hitastigs áður fyrr. Sem dæmi má nefna að á Litlu ísöldinni voru miklar sveiflur í hitafari (sjá mynd 7). Samkvæmt mörgum rannsóknum var álíka hlýtt á Miðöldum, eða jafnvel hlýrra, miðað við allra síðustu ár hér á landi. Má líklega slá því föstu að nútíma hitastigsbreytingar eru ekki óvenjulegar miðað við síðustu árfúsundir.

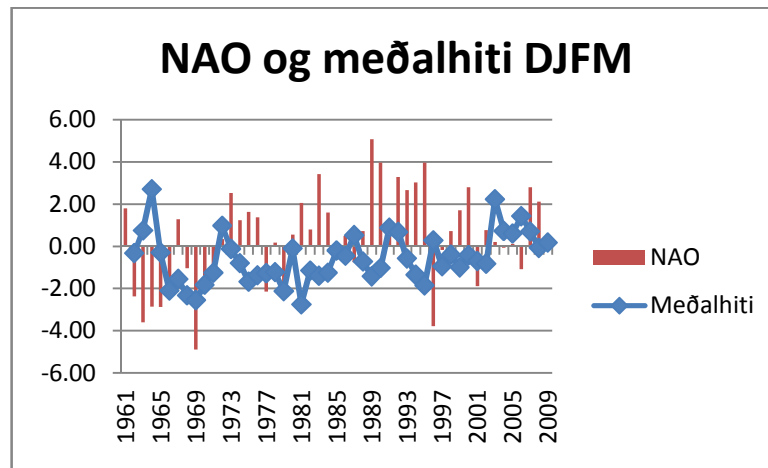
Á mynd 11 er NAO-vísitalan borin saman við ársmeðalhita í Stykkishólmi.

NAO og meðalárshiti í Stykkishólmi



Mynd 11. NAO og meðalárshiti í Stykkishólmi 1961-09. Heimild: NCAR (2008) og Veðurstofa Íslands (2009).

Á mynd 12 má sjá samanburð NAO vístölunnar og vetrarhita í Stykkishólmi árin 1962-2009.



Mynd 12. NAO og meðalvetrarhiti í Stykkishólmi árin 1961-09. Meðalhitinn er meðaltal mánaðanna desember, janúar, febrúar og mars. Heimild: NCAR (2008) og Veðurstofa Íslands (2009).

Meðalvetrarhiti fylgir einnig svipuðu munstri og árshitinn á veðurstöðvunum fimm (sjá mynd 10). Kaldasti veturinn var árið 1980-81 en þá mældist meðalhiti $-2,75\text{ }^{\circ}\text{C}$ (sjá mynd 12). Þá var NAO +2 sem var í meðallagi jákvætt á tímabilinu. Hljásti veturinn varð árið 1963-64 en þá mældist hiti $2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ að meðaltali um vetrarmánuðina. Þá var NAO hinsvegar -2.9 sem er í neikvæðara lagi á tímabilinu. Þetta er hinsvegar engin regla. Mörg frávik má finna eins og á 7. áratugnum en þá var kalt á sama tíma og NAO-vísitalan var neikvæður. Af þessum ástæðum er erfitt er að sjá tengsl milli NAO og hitastigs í Stykkishólmi ef horft er á gröfin, bæði fyrir árshita (sjá mynd 11) og vetrarhita (mynd 12).

NAO var mest jákvæður veturinn 1988-89 eða 5,08. Hinsvegar var NAO mest neikvæður veturinn 1968-69 eða -4,89. Á þessum vetrum var meðalhiti -2,55 annarsvegar og -1,4 hinsvegar. Af þessu má sjá að ýmist er hár loftþrýstingur (veturinn 1968-69, hæð yfir Grænlandi) og lár loftþrýstingur (veturinn 1988-89, Íslandslægðin kröftug) í köldum árum sem þýðir einnig að vestanvindar yfir Atlantshafið geta verið bæði kröftugir og veikir í köldum árum.

6 Túlkun og umræður

Lofthjúpur jarðar er lífsnauðsynlegur fyrir líf á jörðunni og veldur náttúrulegri hitaaukningu við yfirborð jarðar (Ahrens, 2000). Það sem gerist í veðrahvolfinu skiptir mestu máli í hitafari jarðar (Trausti Jónsson, 2008). Því er mikilvægt að skilja þau ferli sem gerast þar.

Sveiflur hitastigs hér við land eru miklar. Hitastig á tímabilinu 1961-2009 á fimm veðurstöðvum sem skoðaðar voru í þessari rannsókn sýna það. Hér sveiflast meðalhiti meira en hnattrænn meðalhiti (sjá mynd 2a og mynd 5). Þó hefur hitafar á Íslandi verið í samræmi við hnattrænar hitafarssveiflur síðustu 100 ára (Áslaug Geirsdóttir o.fl., 2009). Samkvæmt IPCC (2007) hefur hlýnað um 0,74 árin 1906-2005 og hefur hlýnað meira yfir landi en sjó. Bæði hefur hlýnað og kólnað á sama tíma, bæði á Íslandi og hnattrænt. T.d. hlýnaði bæði á Íslandi og hnattrænt á 9. og 10. áratug síðustu aldar. Á árunum 1981-2005 hlýnaði um 0,18 °C á áratug á hnattræna vísu sem er um tvöföld meðalhlýnun hvers áratugar síðustu 100 ára (Halldór Björnsson o.fl., 2008).

Gervitunglagögn sem sýna hita í lofthjúpnun hafa ekki sýnt eins mikla hlýnun frá árinu 1978 miðað við mælingar gerðar á yfirborði jarðar (NRC, 2000). Samkvæmt nýjustu gervitunglamælingum og yfirborðsmælingum þá hefur kólnað örlítið frá árinu 2002 (sjá mynd 3) (D'Aleo, J., 2009). Það er í samræmi við Íslensku stöðvarnar fyrir árin 2003-2008 þegar hiti var svipaður eða lækkaði jafnvel. Samkvæmt NASA var árið 2008 kaldasta árið frá 2000 (Hansen, 2009). Má velta fyrir sér hér hvort toppi á hitastigi sé náð og kólnun sé framundan (D'Aleo, J., 2009).

Í ljósi ofangreindra atriða þá sýna mælingar mismunandi niðurstöður. Eitt stærsta deilumálið er eins og áður sagði er sá munur á mældu hitastigi í lofthjúpnun og við yfirborð jarðar (NRC, 2000). Annað vandamál er að líkön sem spá hlýnun við yfirborð jarðar, spá jafnvel meiri hlýnun í neðra veðrahvolfinu sem er ekki samkvæmt mælingum (Christy, 2005; NRC, 2000). Þó eru vísindamenn sammála um að hlýnað hefur hnattrænt, spurningin er hversu mikil sú hlýnun er og hver orsök hennar sé (Balling, 2005). Yfirlýsingar margra vísindamanna (U. S. Senate, 2009) benda til að ekki ríkir eining meðal vísindamanna um orsakir og áhrif í loftslagsmálum (Michaels, 2005). Niðurstaða NIPCC er að náttúran hafi meiri áhrif á hitastig jarðar en afthafnir manna (Singer, 2008).

Samkvæmt óbeinum sögulegum rannsóknum hefur verið álíka hlýtt á miðöldum og á síðustu árum (Sicre o.fl., 2008; Jón Eiríksson o.fl., 2006) eða jafnvel hlýrra (Loehle, 2007). Einnig koma fram greinilega kuldarnir í Litlu Ísöldinni (Axford o.fl., 2009). Má spyrja sig hvað olli hlýindunum á miðöldum. Ekki er hægt að kenna um aukna losun mannkyns á gróðurhúsalofttegundum á þeim tíma. Líklega orsökkuðust hlýindin af náttúrulegum ástæðum (Singer, 2008). Ein skýringin er að þetta eru áratuga- og hundruð ára langar sveiflur sem hugsanlega eru stjórnaðar af sólinni (Meeker, & Mayewski, 2002). Má því draga þá ályktun að hlýnun síðustu ára er ekki óvenjuleg og flokkast þar af leiðandi til náttúrulegra breytinga.

Aðrar útskýringar eru til á orsök veðurfarabreytinga eins t.d. eldgos. Samkvæmt Ward (2009) þá er brennisteinsdíoxíð (SO_2), af völdum eldgosna og athafna manna meginorsök hnattrænna veðurfarabreytinga en CO_2 hefur minni áhrif. Stærsta eldgos síðustu 95 ára átti sér stað í eldfjallinu Pinatubo á Filipseyjum árið 1991. Afleiðingin varð að meðalhiti við yfirborð jarðar lækkaði um $0,5\text{ }^\circ\text{C}$ næstu þrjú árin. Lakagígaeldgosið árið 1783-1784 varð orsök að óvenjulegu veðurfari í kjölfarið í Evrópu og N-Ameríku og þar kólnaði að meðaltali um $1,3\text{ }^\circ\text{C}$ næstu 2-3 árin (Thordarson & Self, 2003). Hér á landi voru afleiðingarnar móðurharðindin eins og þekkt er. Eldgos hafa því áhrif í nokkur ár en ekki til langtíma.

Þekkt er að jákvæður NAO veldur hlýrri vetrum í Evrópu en kaldara veðurfari í austur-Kanada og norðvestanverðu Atlantshafi (Visbeck o.fl., 2001). Tengsl eru á milli NAO og veðurfars á austurströnd Bandaríkjanna (Oman, 2006). Ekki virðist þó vera greinileg tengsl á milli NAO og hitastigs hér á landi því að bæði jákvætt og neikvætt NAO hefur verið bæði í hlýjum og köldum árum.

Á síðustu þremur áratugum voru þrjú hafistímabil og tilheyrandi kuldakast. En eðli þessara kuldakasta var misjafn, á því fyrsta var loftþýstingur hár og hæðin yfir Grænlandi öflug. Í öðru kuldakastinu var loftþrýstingur lár. Í því þriðja lá Ísland í austurjaðri kuldakastsins (Trausti Jónsson, 2007). Af þessu má sjá að loftþrýstingur fylgir ekki endilega hitafari. Ljóst er að NAO er flókið náttúrulegt fyrirbæri. Hugsanlega má rekja það til þess að veðurfar hér á landi er með því allra breytilegasta sem þekkt er á jörðinni, sérstaklega að vetri til. Landið er umkringgt sjó og auk þess liggur það á mörkum kaltra og hlýrra haf- og loftstrauma og því margir þættir sem geta haft áhrif. NAO er því fyrirbæri sem menn geta rannsakað meira í

framtíðinni.

Svo má spyrja sig hvort manngerð gróðurhúsaáhrif eru eins raunveruleg og IPCC heldur fram og hvort þau munu hafa þau áhrif sem þeim er spáð og þar með yfirgnæfa náttúruleg áhrif. Ljóst er að hnattrænar hitastigsbreytingar koma fram hér við land í framtíðinni hvort sem það er hlýnun eða kólnun, því þær hafa komið fram í fortíðinni. Hitastigsmælingar næstu ára munu vonandi skýra betur þessa hluti.

7 Heimildaskrá

- Ahrens, C.D. (2000). *Meteorology Today: An Introduction to weather, climate, and the environment*. Pacific Grove: Brooks/Cole.
- Áslaug Geirsdóttir, Miller, G.H., Thorvaldur Thordarson & Kristín B. Ólafsdóttir (2009). A 2000 year record of climate variations reconstructed from Haukadalsvatn, West Iceland. *Journal of Paleolimnology*, 41, 95-115.
- Axford, Y., Áslaug Geirsdóttir, Miller, G.H. & Langdon, P.G. (2009). Climate of the Little Ice Age and the past 2000 years in northeast Iceland inferred from chironomids and other lake sediments proxies. *Journal of Paleolimnology*, 41, 7-24
- Balling, R.C., Vose, R.S. & Weber, G.R. (1998). *Analysis of long-term European temperature records: 1751-1995*. *Climate Research*, 10(3), 193-200.
- Balling, R.C. (2005). Observational Surface Temperature Records versus Model Predictions. Í Patrick J. Michaels (ritstj.), *Shattered Consensus: The True State of Global Warming* (bls. 50-71). Maryland: Rowman & Littlefield Publishers, Inc.
- Bernes, C. (1996). *Heimskautssvæði Norðurlanda - ósnortið, ofnýtt, mengað?* (Ásta Erlingsdóttir og Erling Erlingsson, þýð.). Kaupmannahöfn: Norræna ráðherranefndin (Frumútgáfa 1996)
- Christy, J. (2005). Temperature Changes in the Bulk Atmosphere. Í Patrick J. Michaels (ritstj.), *Shattered Consensus: The True State of Global Warming* (bls. 72-105). Maryland: Rowman & Littlefield Publishers, Inc.
- D'Aleo, J. (2009). *Recent Cooling and the Serious Data Integrity Issue*. Skoðað 20. apríl 2009 á http://icecap.us/index.php/go/joes-blog/2008_coldest_year_since_2000_and_clearly_not_a_top_ten_warmest_year/
- Halldór Björnsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Anna K. Daníelsdóttir, Árni Snorrason, Bjarni D. Sigurðsson, Einar Sveinbjörnsson o.fl. (2008). *Hnatrænar loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi: Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar*. Reykjavík: Umhverfisstofnun.
- Hansen, J.E. (2009). *GISS Surface Temperature Analysis: Global Temperature Trends: 2008 Annual Summation*. Skoðað 10. maí 2009 á <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/2008/>
- IPCC (2007). *Climate Change 2007 - Synthesis Report: Summary for Policymakers*. Skoðað 11. mars 2009 á http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf
- Jón Eiríksson, Helga Bára Bartels-Jónsdóttir, Cage, A.G., Esther Rut Guðmundsdóttir, Kristensen, D.K., Marret, F. o.fl. (2006). Variability of the North Atlantic Current during the last 2000 years based on shelf bottom water and sea surface temperatures along an open ocean/shallow marine transect in

- western Europe. *The Holocene*, 16, 1017-1029.
- Loehle C. (2007). A 2000-year global temperature reconstruction based on non-treering proxies. *Energy and Environment*, 18, 1048-1058.
- Massé, G., Rowland, S.J., Sicre, M.A., Jacob, J., Jansen, E. & Belt, S.T. (2008). Abrupt climate changes for Iceland during the last millennium: Evidence from high resolution sea ice reconstructions. *Earth and Planetary Science Letters*, 269, 565-569.
- Meeker, L.D. & Mayewski, P.A. (2002). A 1400-year high-resolution record of atmospheric circulation over the North Atlantic and Asia. *The Holocene*, 12, 257-266.
- Michaels, P.J. (ritstj.) (2005). *Shattered Consensus: The True State of Global Warming*. Maryland: Rowman & Littlefield Publishers, Inc.
- NCAR (2008). *Winter (Dec-Mar) Station Based NAO Index*. Skoðað 11. Júní 2009 á <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/nao.stat.winter.html>
- NRC (2000). *Reconciling observations of global temperature change*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Oman, L. (2006). *The North Atlantic Oscillation Impact on Temperatures, Precipitation, Snowfall, and Snow Depth*. Skoðað 14. júní 2009 á <http://www.cep.rutgers.edu/~oman/NAO.htm>
- RSS (2009). *Description of MSU and AMSU Data Products*. Skoðað 2. maí 2009 á http://www.ssmi.com/msu/msu_data_description.html#intro
- Self, S., Widdowson, M., Thordarson, T. & Jay, A.E. (2006). Volatile fluxes during flood basalt eruptions and potential effects on the global environment: A Deccan Perspective. *Earth and planetary science letters*, 248(1-2), 518-532.
- Sicre, M.A., Jacob, J., Ezat, U., Rouse, S., Kissel, C. & Yiou, P. o.fl. (2008). Decadal variability of sea surface temperatures off North Iceland over the last 2000 years. *Earth and Planetary Science Letters*, 268, 137-142.
- Sigurður R. Gíslason, Oelkers, E.H., Eydís S. Eiríksdóttir, Kardjilov, M.I, Guðrún Gísladóttir & Bergur Sigfússon o.fl. (2009). Direct evidence of the feedback between climate and weathering. *Earth and Planetary Science Letters*, 277, 213-222.
- Singer, S.F. (ritstj.) (2008). *Nature, Not Human Activity, Rules the Climate: Summary for Policymakers of the Report of the Nongovernmental International Panel on Climate Change*. Skoðað 29. mars 2009 á vef Heartland Institute: http://www.heartland.org/custom/semod_policybot/pdf/22835.pdf

- Spencer, R.W. & Christy, J.R. (1990). Precise Monitoring of Global Temperature Trends from Satellites. *Science*, 247, 1558-1562, Tómas Jóhannesson & Trausti Jónsson (1994). Veðurhorfur á næstu öld: Veðurfarsbreytingar og gróðurhúsaáhrif. *Náttúrufræðingurinn*, 64(1), 13-29.
- The University of Alabama in Huntsville (á.á.). *Taking Earth's temperature*. Skoðað 29. apríl 2009 á <http://www.uah.edu/News/climatebackground.php>
- The University of Alabama in Huntsville (2009). *Index of /data/msu/t2lt – Global*. Skoðað 3. maí 2009 á <http://vortex.nsstc.uah.edu/data/msu/t2lt/uahncdc.lt>
- Thordarson T, Self S. (2003). Atmospheric and environmental effects of the 1783-1784 Laki eruption: A review and reassessment. *Journal of geophysical research-atmospheres*, 108(D1), AAC 7-1.
- Trausti Jónsson (2007). *Hitafar á Íslandi eftir 1800*. Skoðað 19. apríl 2009 á <http://vedur.is/loftslag/loftslag/fra1800/hitafar/>
- Trausti Jónsson (ritstj.) (2008). *Gróðurhúsaáhrif og loftlagsbreytingar*. Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.
- U. S. Senate (2009). *Minority Report: More Than 700 International Scientists Dissent Over Man-Made Global Warming Claims Scientists Continue to Debunk "Consensus" in 2008 & 2009*. Skoðað 13. apríl 2009 á http://epw.senate.gov/public/index.cfm?FuseAction=Files.View&FileStore_id=83947f5d-d84a-4a84-ad5d-6e2d71db52d9
- Veðurstofa Ísland (2009). Skoðað 12. júní 2009 á <http://vedur.is>
- Visbeck, M.H., Hurrell, J.W., Polvani, L. & Cullen, H.M. (2001). The North Atlantic Oscillation: Past, present, and future. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(23), 12876-12877.
- Ward, P.L. (2009). Sulfur dioxide initiates global climate change in four ways. *Thin Solid Films*, 517, 3188-3203.