

Útdráttur á samantekt úr 4. yfirlitsskýrslu IPCC

(Kaflaskiptingu samantektarinnar er fylgt)

1. Breytingar á loftslagi og afleiðingar þeirra

Hlýnun lofthjúpsins er óumdeilanleg staðreynd, sem sést í niðurstöðum mælinga og kemur fram í hækkun á meðalhitastigi andrúmsloftsins og hafsins, víðtækri bráðnun á snjó og ís og hækkandi sjávarborði.

Hlýnun við yfirborð jarðar var $0,74^{\circ}\text{C}$ sl. 100 ár (1906-2005) og ellefu af tólf síðastliðnum árum (1995-2006) eru þau hlýjustu frá upphafi marktækra mælinga á hnattræna vísu um 1850. Hlýnunin er mest á norðlægari breiddargráðum og meiri yfir landi en yfir sjó. Gervihnattamælingar sýna að hafis á norðurheimskautssvæðinu hefur dregist saman um 2,7% á áratug og enn meira á sumrin, eða um 7,4% á áratug. Jöklar á fjöllum og snjöhula hafa dregist saman bæði á norðurhveli og suðurhveli.

Meðalsjávarborð hefur hækkað frá 1961 um 1,8 mm á ári að meðaltali og frá 1993 um 3,1 mm að meðaltali, vegna bráðunar jökla og þenslu sjávar vegna hlýnunar. Þegar á heildina er litið hafa þurrkasvæði líklega ¹ stækkað frá 1970.

Dæmi um áhrif á náttúruleg kerfi þar sem breytingar, sem ýmist eru taldar mjög eða ákaflega líklegar, hafa nú þegar komið fram eru:

- Breytingar hafa orðið í vistkerfum á heimskautasvæðum og á útbreiðslu ýmissa dýra og plöntutegunda, þannig að þær má nú finna nær heimskautasvæðum eða hærra í fjallendi.
- Það vorar fyrr, sem hefur m.a. áhrif á laufgun trjáa, ferðir farfugla og varptíma; gróðurtími hefur lengst.
- Lón við jökuljaðra hafa stækkað og þeim fjölgað. Aukið afrennsli er í jökulám og dragám þar sem snjóbráðar gætir; vorflóð eru fyrr á ferðinni.
- Sterkar vísbendingar eru um breytingar á vistkerfum í hafi og ferskvatni vegna hækkandi hitastigs, en þar koma einnig við sögu breytingar á ísþekju, seltu, súrefnismagni og straumahringrás. Meðal annars hafa orðið breytingar á útbreiðslu þörungna, svifs og fisktegunda, bæði í ferskvatni og í sjó, nærri heimskautasvæðum.
- Uptaka sjávar á koldíoxíði eykst með styrk hans í lofti. Síðan 1750 hafa heimshöfin súrnað um 0,1 sýrustig. Áhrif þessa á lífríki hafsins eru enn lítt þekkt.

Samfélagsleg áhrif loftslagsbreytinga eru ekki jafn greinileg. Fleiri þættir en loftslagsbreytingar hafa áhrif á samfélagsbreytingar, auk þess sem aðlögunarhæfni samfélagslegra kerfa er meiri en náttúrulegra kerfa. Eftir sem áður er talið að rekja megi ýmsar breytingar innan skógariðnaðar og landbúnaðar til loftslagsbreytinga, s.s. lengri ræktunartíma, aukna tíðni skógarelda og breytingar á útbreiðslu ýmissa skaðvalda.

2. Orsakir breytinga

Árleg losun gróðurhúsalofttegunda hefur aukist frá iðnbyltingu og um 70% frá 1970 til 2004.

1 IPCC reynir að meta líkur á trúverðugleika fullyrðinga í skýrslunni; samkvæmt aðferðafræði IPCC þýðir t.d. *ákaflega líklegt* að líkurnar séu yfir 95%, *mjög líklegt* yfir 90%, *líklegt* yfir 66% og *líklegra en ekki* yfir 50%. Aðferðafræði við mat á trúverðugleika byggist á hefðbundinni tölfræði (s.s. aðhvarfsgreiningu, fylgnireikningi, tímaraðagreiningu o.fl.).

Koldíoxíð (CO₂) er helsta gróðurhúsalofttegundin sem er losuð af mannavöldum. Árleg losun CO₂ jókst um 80% milli 1970 og 2004.

Styrkur CO₂, metans (CH₄) og köfnunarefnisoxíðs (N₂O) í andrúmsloftinu hefur aukist verulega af mannavöldum síðan 1750 og er nú langt yfir styrk þeirra fyrir iðnbyltingu, samkvæmt vísbendingum úr ískjörnum sem ná yfir þúsundir ára.

Aukning í styrk CO₂ er einkum vegna bruna jarðefnaeldsneytis, en breytingar á landnotkun losa einnig mikið CO₂. Styrkur CO₂ í andrúmslofti er miklu meiri en nokkru sinni í a.m.k. 650.000 ár, eða eins langt aftur í tímann og upplýsingar úr ískjörnum ná. Aukning á styrk CH₄ og N₂O er einkum af völdum landbúnaðar. Sót og svifryk í andrúmslofti af mannavöldum veldur kælingu andrúmsloftsins, en það vegur hvergi nærri á móti hlýnun af völdum gróðurhúsalofttegunda.

Aukning á meðalhita andrúmsloftsins síðan um miðja 20. öld er mjög líklega að mestu leyti vegna aukningar í losun gróðurhúsalofttegunda af mannavöldum. Það er líklegt að það hafi orðið veruleg hlýnun af mannavöldum á sl. 50 árum í öllum heimsálfum utan Suðurskautslandsins.

Ef eingöngu er horft á náttúrulegar breytingar af völdum sólargeislunar og eldgosa sl. 50 ár, þá er líklegt að áhrif þeirra hefðu leitt til kólnunar. Mælanleg hlýnun jarðar er eingöngu skýrð af líkönum sem taka tillit til bæði náttúrulegra þátta og áhrifa mannsins.

Ný þekking frá útgáfu 3. skýrslu IPCC sýnir að áhrif mannsins séu merkjanleg í fleiri loftslagstengdum þáttum en í aukningu meðalhita. Mannleg áhrif hafa t.d. *mjög líklega* átt þátt í hækkun sjávarborðs á síðari helmingi 20. aldar og *líklega* átt þátt í minnkun hafisútbreiðslu, hlýnun sjávar og breytingum á veðrakerfum.

3. Loftslagsbreytingar í framtíðinni og afleiðingar þeirra

Allt bendir til þess að hnattræn losun gróðurhúsalofttegunda muni halda áfram að aukast næstu áratugi að óbreyttri stefnu og aðgerðum í loftslagsmálum og efnahagsþróun.

Sviðsmyndir IPCC framreikna aukningu á losun GHG um 25-90% milli 2000 til 2030; allt bendir til að jarðefnaeldsneyti verði áfram meginorkugjafi jarðarbúa til 2030 og lengur.

Áframhaldandi losun GHG í svipuðu eða meira magni en nú er myndi valda aukinni hlýnun og margvíslegum breytingum á loftslagskerfi jarðar á 21. öldinni, sem myndu mjög líklega verða meiri en þær sem hafa orðið á 20. öldinni.

Mörg loftslagslíkön framreikna hlýnun um 0,2°C á áratug næstu 20 árin. Framreikningar á hlýnun eftir það eru breytilegir eftir forsendum um losun GHG. Líklegasta hlýnun af mannavöldum á þessari öld er talin á bilinu 1,8-4,0°C ef aðeins er tekið tillit til óvissu um losun GHG. Þó styrkur GHG nái jafnvægi er samt óvissa um viðbrögð lofthjúpsins. Ef styrkur GHG tvöfaldast frá því sem var fyrir iðnbyltingu verður hlýnunin á bilinu 2 til 4.5°C (en 3°C líklegast). Nái GHG jafnvægi við minni styrk verður hlýnunin minni, en fer þó eftir því hversu langan tíma tekur að draga úr losun svo jafnvægi náist.

Útreikningar á svæðisbundnum áhrifum eru nú áreiðanlegri en í 3. skýrslu IPCC (2001). Þetta gildir m.a. fyrir hlýnun og öðrum afleiðingum loftslagsbreytinga, s.s. breytingum á vindafari, úrkomu, hafis og aftakaveðri.

Svæðisbundin áhrif loftslagsbreytinga sem spáð er, eru m.a.:

- áframhaldandi hlýnun á svæðum þar sem hlýnað hefur á sl. áratugum,
- samdráttur í snjóhulu og hafis; hafis á Norður-Íshafi hverfur nær algerlega á sumrin í lok 21. aldar,
- aukning á krafti fellibylja er líkleg, en óvissa um tíðni þeirra,

- úrkoma á nyrstu og syðstu breiddargráðum mun mjög líklega aukast, en líklega minnka á heittempruðum svæðum.

Þau landsvæði sem munu verða fyrir hvað mestum áhrifum eru:

- Norðurslóðir, vegna áhrifa mikillar hlýnunar á náttúrufar og samfélög,
- Afríka, vegna lítillar getu til aðlögunar og áhrifa væntanlegra loftslagsbreytinga,
- Smáeyjar, vegna hækkunar sjávarborðs og aukinna stormflóða,
- Óshólmavæði stórfljóta í Asíu, vegna hækkunar sjávarborðs og aukinnar hættu á sjávar- og árflóðum á þéttbýlum svæðum.

Jafnvel þótt gripið verði til árangursríkra aðgerða til að draga úr loftslagsbreytingum er áframhaldandi hlýnun, með tilheyrandi afleiðingum, á 21. öldinni þegar óhjákvæmileg. Dæmi um afleiðingar hlýnunar sem virðast vera óhjákvæmilegar eru: Dauði kóralrifja, tilfærsla á búsvæðum tegunda, vatnsskortur og þurrkahætta á sumum þurrum svæðum í hitabeltinu og heittempraða beltinu, hætta á skógareldum og flóðum á strandsvæðum í takt við hækkun sjávarborðs.

Súrnun hafsins vegna aukins styrks koldíoxíðs í andrúmslofti á sér nú þegar stað. Súrnun er talin munu hafa neikvæð áhrif á ýmis dýr sem byggja sér skeljar eða stoðkerfi, s.s. kóralla.

Hlýnun jarðar og hækkun sjávarborðs munu halda áfram um aldir, jafnvel þó styrkur GHIL ná jafnvægi.

Hopun Grænlandsjökuls er talin munu valda hækkun sjávarborðs eftir 2100. Ef meðalhiti jarðar héldist í nokkar aldir 1.9 til 4.6°C yfir því sem var fyrir iðnbyltingu spá tölvulíkön algerri bráðnun Grænlandsjökuls og 7 m hækkun sjávarborðs. Líkön spá því að jökulhettan á Suðurskautslandinu muni haldast of köld til að víðtæk bráðnun hefjist og muni stækka vegna aukinnar snjókomu. Þó er mögulegt að nettóminnkun verði á ísmassa Suðurskautslandsins, ef framrás jökla við jaðra þess eykst.

Loftslagsbreytingar gætu orðið hraðar eða óafturkræfar. Bráðnun jökla á heimskautasvæðunum gæti leitt til nokkurra metra hækkun á sjávarborði, miklum breytingum á strandlengju þar sem láglend strandsvæði færu undir sjó, sérstaklega við árósa og á láglendum eyjum. Framreikningar sýna breytingar af þessu tagi á árþúsundum, en ekki er hægt að útiloka hraðari hækkun sjávarborðs á hundruðum ára.

Loftslagsbreytingar munu líklega leiða til ákveðinna óafturkræfra breytinga. Það er talið sennilegt að um 20-30% tegunda myndu verða í aukinni hættu á útdauða ef hitastig hækkar um 1,5-2,5°C (frá 1980-1999) og mjög líklegt að verulegur útdauði tegunda (yfir 40%) mynda verða ef hlýnun yrði yfir 4°C.

Samkvæmt loftslagslíkönum er mjög líklegt að hægi á straumahringrásinni í Atlantshafi á 21. öld, en það er mjög ólíklegt að stórfelldar og snöggar breytingar verði á henni á þeim tíma [s.s. stöðvun Golfstraumsins]. Erfitt er að spá fyrir um áhrif til lengri tíma. Líklegar afleiðingar mikilla breytinga á straumahringrásinni eru m.a. breytingar á framleiðni vistkerfa í hafinu, fiskveiðum, upptöku kolefnis úr andrúmslofti, styrk súrefnis í hafinu og breytingar á gróðurfari á landi.

4. Möguleikar á aðlögun og aðgerðum til að draga úr loftslagsbreytingum

Margvíslegir möguleikar eru á að aðlagast loftslagsbreytingum, en aukin áhersla á aðlögun er nauðsynleg til að draga úr tjónnæmi² fyrir loftslagsbreytingum. Ljóst er að samfélög verða að aðlagast loftslagsbreytingum og afleiðingum þeirra í vaxandi mæli, óháð því hvernig tekst til við að draga úr nettólosun gróðurhúsalofttegunda og vaxandi styrk þeirra í andrúmsloftinu. Ekki liggur fyrir áreiðanlegt mat á hnattrænum kostnaði við aðgerðir til aðlögunar og árangri þeirra.

Geta til aðlögunar er nátengd félagslegri og efnahagslegri þróun, en er ójafnt skipt á milli samfélaga og innan þeirra og fer m.a. eftir auðlegð og innviðum, mannauð og stofnunum, stjórnarfari, heilbrigði og tækniþróun.

Athuganir benda til að það séu miklir möguleikar á að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda á komandi áratugum, sem gætu dregið úr framreiknaðri aukningu á losun eða minnkað losun frá því sem nú er. Búist er við að fjárfesting í orkugeiranum muni nema yfir 20 þúsund milljörðum dollara á tímabilinu 2005-2030, en eðli þeirra fjárfestinga mun hafa mikil áhrif á möguleika til að takmarka losun GHG, vegna langs líftíma orkuvera og annarra innviða. Ef takast á að halda losun árið 2030 svipaðri og árið 2005 þyrfti að koma til veruleg breyting á eðli fjárfestinga í orkugeiranum; mat á auknum kostnaði við fjárfestingu í loftslagsvænni kostum er allt frá óverulegum aukakostnaði til 5-10% hærri kostnaðar.

Ríkisstjórnir hafa margvísleg stjórnækni til að hvetja til minnkunar á losun GHG. Meðal slíkra stjórnækja eru: innleiðing loftslagsstefnu í þróunaraðstoð; reglusetning og staðlagerð; skattar og gjöld; framseljanlegar losunarheimildir; hagrænir hvatar; frjálsir samningar; upplýsingagjöf; og rannsóknir, þróun og tilraunaverkefni. Verðlagning á kolefni getur aukið getu til þess að draga úr losun í öllum geirum. Líkön sýna að hnattrænt verð á tonni af CO₂-ígildum á bilinu 20-80 dollarar árið 2030 gæti stuðlað því að ná jafnvægi í styrk GHG sem svarar 550 hlutum af milljón. Efling innleiðing loftslagsvænnar tækni gæti lækkað kostnaðinn í 5-65 dollara. Margar aðgerðir til að draga úr nettólosun GHG hafa aðra jákvæða kosti í för með sér, s.s. minnkun á heilsuspillandi loftmengun, sem dregur úr kostnaði við þær. Breytingar á lífsstíl og hegðun geta leitt til minnkunar á nettólosun GHG.

Margvíslegir möguleikar eru á því að minnka losun GHG í gegnum alþjóðlega samvinnu. Loftslagssamningur S.þ. og Kýótó-bókunin eru almennt talin náð árangri í að stuðla að hnattrænum viðbrögðum gegn loftslagsbreytingum, hvetja til margvíslegra aðgerða í aðildarríkjum og að setja á fót alþjóðlegan kolefnismarkað og ný tæki, sem gætu verið grundvöllur að aðgerðum í framtíðinni til að draga úr losun og auðvelda aðlögun.

Í mörgum geirum er hægt að grípa til aðgerða gegn loftslagsbreytingum, sem hafa jákvæð áhrif á aðra þætti samfélagsþróunar og sneiða hjá neikvæðum áhrifum. Ákvarðanir á sviði efnahagsmála og annarra sviða ótengdum loftslagsstefnu geta haft umtalsverðar afleiðingar á losun GHG, möguleika til aðlögunar og tjónnæmi.

Það er talið mjög líklegt að loftslagsbreytingar muni draga úr árangri við að koma á sjálfbærri þróun.

5. Langtímasjónarmið

Ákvörðun á því hvað teljist vera “hættulegar breytingar á loftslagskerfinu af mannavöldum” samkvæmt ákvæðum Loftslagssamnings S.þ. kallar á gildismat. Vísindin geta stutt við upplýstar ákvarðanir með því að setja viðmiðanir um hverjir séu lykilþættir í tjónnæmi. Þekking á slíkum viðmiðunum hefur batnað frá 3. skýrslunni – yfirleitt þannig að tjónnæmi er talið meira við lægri hitastigshækkun - m.a. varðandi eftirfarandi fimm lykilþætti:

- **Áhætta fyrir sérstök og viðkvæm náttúruleg kerfi:** Með aukinni hlýnun er spáð auknum útdauða tegunda og dauða kóralrifja; líklegt er að um 20-30% tegunda dýra og plantna verði í aukinni útrýmingarhættu ef meðalhitastig hækkar meira en 1,5-2,5°C og hækkun sjávarhita um 1-3°C er talin leiða til víðtæks dauða kóralla.
- **Hætta á öfgakenndum veðuratburðum:** Meiri áreiðanleiki er í framreikningum sem spá aukningu á þurrkum, hitabylgjum og flóðum.
- **Dreifing áhrifa og tjónnæmi:** Framreikningar á svæðisbundnum áhrifum loftslagsbreytinga hafa batnað: Auknar vísbendingar eru um að vanþróuð svæði í hitabeltinu búi við mesta áhættu, sérstaklega þurrkasvæði og óshólmar stórfljóta.
- **Samanlögð heildaráhrif:** Möguleg jákvæð áhrif loftslagsbreytinga ná hámarki við lægri hlýnun

en áður var talið, en tjón af völdum loftslagsbreytinga er meira en áður var talið við verulega hlýnun. Nettókostnaður vegna loftslagsbreytinga er talinn munu aukast með tímanum.

- **Hætta á snöggum og óafturkræfum breytingum:** Aukinn trúverðugleiki er í spám um að hlýnun í margar aldir muni leiða til mikillar hækkunar sjávarborðs. Ekki er hægt að útiloka að sjávaryfirborð hækki meira en líkön hafa spád vegna bráðnunar á Grænlandsjökli og hugsanlega á Suðurskautslandinu; þetta er vegna þess að nýlegar athuganir benda til þess að íslíkön vanmeti massatap jökla. Útdauða tegunda í einhverjum mæli er spád á þessari öld.

Það er mikil víska fyrir því að hvorki aðlögun né aðgerðir til að draga úr loftslagsbreytingum geta komið í veg fyrir allar afleiðingar þeirra; slíkar aðgerðir geta hins vegar dregið verulega úr áhættu samfara loftslagsbreytingum.

Aðgerðir gegn loftslagsbreytingum geta dregið úr, frestað eða komið í veg fyrir margar afleiðingar loftslagsbreytinga. Slíkar aðgerðir á næstu tveimur til þremur áratugum munu hafa veruleg áhrif á möguleika á að ná lægri jafnvægisstyrk GHG í andrúmslofti. Frestun á takmörkunum á losun GHG dregur verulega úr líkum á að ná lægri jafnvægisstyrk og eykur áhættu á alvarlegum áhrifum loftslagsbreytinga.

Til að ná jafnvægi í styrk GHG í andrúmsloftinu þarf losun [sem fer vaxandi á heimsvísu nú] fyrst að ná hámarki og minnka síðan. Því lægri jafnvægisstyrk sem reynt er að ná, því fyrr þarf að ná hámarki losunar og því meira þarf að minnka losun. Í þeirri sviðsmynd sem gerir ráð fyrir lægsta jafnvægisstyrk GHG er gert ráð fyrir að losun þurfi að ná hámarki árið 2015, en í þeirri sem gerir ráð fyrir hæsta styrknum er gert ráð fyrir hámarki losunar árið 2090. Hlýnun mun halda áfram um langa hríð eftir að jafnvægi næst í styrk GHG. Hækkun sjávarborðs mun halda áfram um aldir eftir að jafnvægi næst í styrk GHG og mun hækka mun meira en framreiknað er fyrir 21. öldina.

Það er almennt samkomulag um að hægt sé að ná öllum jafnvægisstyrkjum sem IPCC hefur metið [frá 445 hlutum af milljón (ham) til 1130 ham, samanborið við um 280 ham CO₂ fyrir iðnbyltingu] með því að beita tækni sem ýmist er nú þegar fyrir hendi eða verður fáanleg á næstu áratugum, að því gefnu að viðeigandi og skilvirkir hvatar séu fyrir hendi til að þróa slíka tækni og nýta hana.

Allar sviðsmyndir gera ráð fyrir að 60-80% samdráttar í losun myndi koma frá orkuframleiðslu og – notkun, auk iðnaðarferla. Með því að taka einnig með breytta landnotkun og bindingu í skógi eykst sveigjanleiki og hagkvæmni aðgerða. Meðalkostnaður árið 2050 við að ná stöðugleika GHG í andrúmslofti á bilinu 710 til 445 ham CO₂-ígilda er sem svarar á bilinu 1% aukningu heimsframleiðslu til 5,5% minnkunar. Þetta samsvarar því að meðalvöxtur heimsframleiðslu minnki um 0,12 prósentustig árlega.

Viðbrögð við loftslagsbreytingum kalla á virkt áhættustjórnunarferli, sem felur í sér bæði aðlögun og aðgerðir gegn loftslagsbreytingum og tekur tillit til áhrifa loftslagsbreytinga, jákvæðra hliðaráhrifa aðgerða, sjálfbærni, jafnræðissjónarmið og mat á áhættu.

Samfélagslegur kostnaður kolefnis er áætlaður um 12 dollarar á tonn CO₂ árið 2005, en hann gæti verið á bilinu 3-95 dollarar. Mjög líklegt er að þessi kostnaður sé vanmat, því útreikningar á skaða reikna ekki með ýmis konar tjóni sem ekki er auðvelt að meta á peningalegan mælikvarða.