

Grunnatriði kenningarinnar

Fyrir rúmum 100 árum sýndi Svíinn Svante Arrhenius fram á að aukinn styrkur koldíoxíðs gæti valdið hlýnun lofthjúpsins, en langur tími leið áður en fólk vaknaði almennt til vitundar um að mannkynið hefði áhrif á loftslag jarðar með athöfnum sínum. Árið 1990 kom út fyrsta úttekt Vísindanefndar Sameinuðu þjóðanna, sem færði sterk rök fyrir því að loftslagsbreytingar af manna völdum ættu sér stað. Fjórða úttektin kom svo út 2007 og þar er tekinn af allur efi: Loftslagsbreytingar af völdum manna eru ótvíræðar og munu valda mikilli röskun á komandi áratugum ef ekki er gripið í taumana. (*Úr skýrslunni Hnattrænar loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi – gefin út af Umhverfisstofnuninni árið 2008*)

Gróðurhúsaáhrifin

Sólin er sá frumkraftur sem eðlilegt er að telja að hafi mest áhrif á loftslagsbreytingar á jörðinni (sjá [sólin](#)), sú væri líka raunin nú ef ekki væri fyrir gróðurhúsalofttegundirnar. Sólin hitar jörðina með varmageislun, en ef sólin væri ein um að valda hitabreytingum á jörðinni þá myndi meðalhiti jarðar sveiflast í kringum -18°C (lægra þegar virkni hennar væri lítil, hærra þegar virkni væri mikil). Áhrif gróðurhúsalofttegunda hækka þar með hitastig jarðar um 33° eða upp í 15°C . Á heimasíðu [veðurstofunnar](#) er ágætt dæmi sem útskýrir þessi áhrif gróðurhúsalofttegunda á skiljanlegan hátt:

Reikistjarnan Venus er nær Sólu og styrkur varmageislunar Sólarinnar er rúmlega 2600 W/m^2 efst í lofthjúpi Venusar. En ólíkt Jörðinni er Venus skýjum hulin og skýin endurvarpa um 80% sólgeislunarinnar. Einungis tæplega 530 W/m^2 (um 9 ljósaperur) verða eftir til að hita Venus sem er ríflega helmingur þess sem fer í að hita upp Jörðina.

Ef varminn frá Sólinni réði yfirborðshita ætti Jörðin að vera heitari en Venus. Staðreyndin er samt sú að yfirborðshiti á Jörðinni er um 15°C en rúmlega 400°C á Venusi! Það getur því ekki verið rétt að varmageislunin ein sér ráði yfirborðshitanum.

Munurinn á Jörðinni og Venusi liggur í því að á Venusi eru að verki firna öflug gróðurhúsaáhrif. Þau hækka yfirborðshitann þar um tæplega 450°C . Sams konar áhrif eru miklu veikari í lofthjúpi Jarðar, þar bæta gróðurhúsaáhrif einungis 33°C við meðalhitann. Mikilvægi þessa er samt óumdeilt. Án gróðurhúsaáhrifanna væri -18°C hiti á yfirborði Jarðar og ólíklegt að líf hefði kviknað hér.



Andrúmsloftið á Venus

Samlíkingin við gróðurhús þykir almennt séð villandi, því þau ferli sem hita gróðurhús eru nokkuð önnur en þau sem hita lofthjúpin – orðið gróðurhúsaáhrifin (e. greenhouse effect) hefur þó verið notað það lengi að því verður varla breytt úr þessu.

Gróðurhúsalofttegundir

Gróðurhúsalofttegundirnar eru margar og þær helstu eru t.d. CO₂ (koldíoxíð), N₂O (tví-nituroxíð) og metan (mun fleiri eru til, en þær eru í það litlu magni að þær hafa lítil áhrif). Um Vatnsgufu segir heimasíða Veðurstofunnar:

Vatnsgufa (H₂O) í lofthjúpinum er einnig öflug gróðurhúsalofttegund. Hún er þó venjulega ekki talin til hefðbundinna gróðurhúsalofttegunda því magn hennar er mjög breytilegt frá einu svæði til annars, ólíkt fyrrgreindum lofttegundum en magn þeirra er mjög álíka alls staðar í lofthjúpinum.

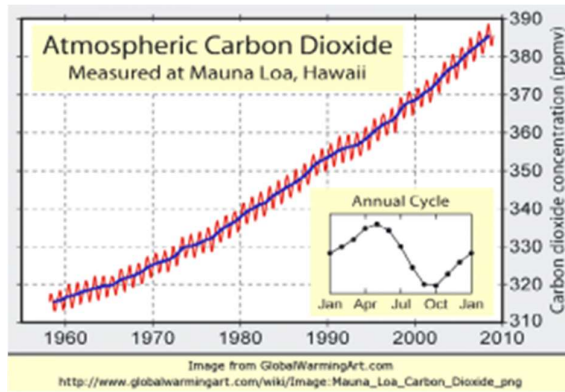
Á flestum stöðum á Jörðinni breytist magn vatnsgufu í lofti líka mjög hratt með tíma. Hringrás vatns í lofthjúpinum er mjög hröð, líftími vatnsgufu er mældur í dögum meðan framantaldar lofttegundir hafa líftíma sem er mældur í árum, áratugum, árhundruðum eða jafnvel árbúsundum.

Þegar vatnsgufa þéttist getur hún myndað ský og þó að ský séu ekki gróðurhúsalofttegund þá geta þau haft sambærileg áhrif. Eftir heiðskíra nótt er að jafnaði mun kaldara í morgunsárið en eftir skýjaða nótt. Munurinn liggur í því að skýin gleypa í sig varmageislun frá Jörðinni og endurgeisla svo hluta hennar til baka að yfirborði jarðar, rétt eins og gróðurhúsalofttegundirnar.

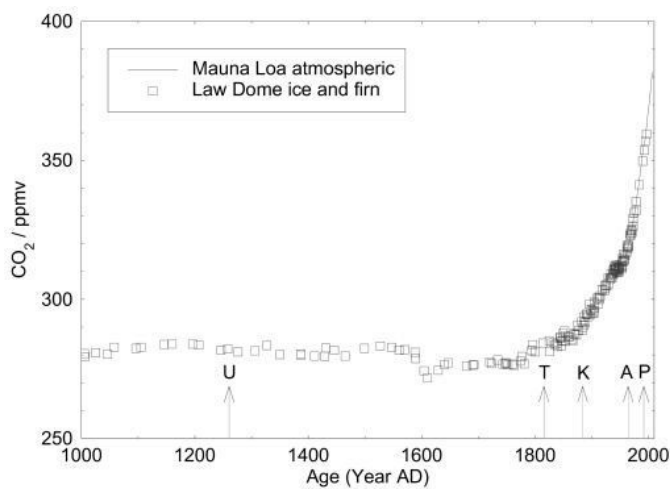
Að auki segir:

Ský hafa einnig mikil áhrif á orkujafnvægi Jarðar með því að spegla sólargeislun til baka út í geiminn. Skýin eiga því stóran hluta í endurspeglunarstuðlinum, sem er 0,3 eða 30% fyrir Jörðina. Fyrir Jörðina í heild veða speglunaráhrif þyngra en „gróðurhúsaáhrif“ tengd skýjum, þ.e. skýin lækka yfirborðshita Jarðar.

Vitað er að gróðurhúsalofttegundirnar hafa aukist mikið frá upphafi iðnbyltingunnar (miðað við 1750). Styrkur CO₂ er nú 37% meiri en fyrir iðnbyltingu og styrkur CO₂ og metans er nú meiri en hann hefur verið í a.m.k. 650 þúsund ár. Ástæða aukningarinnar er að mestu leiti vegna bruna jarðefnaeldsneytis, en að hluta vegna breytinga í landnotkun (eyðing skóga t.d.). CO₂ magn hefur verið mælt skipulega frá því á sjötta áratug síðustu aldar (en fyrri tíma gögn fást með óbeinum mælingum – t.d. mælingar á magni CO₂ í loftbólum ískjarna).

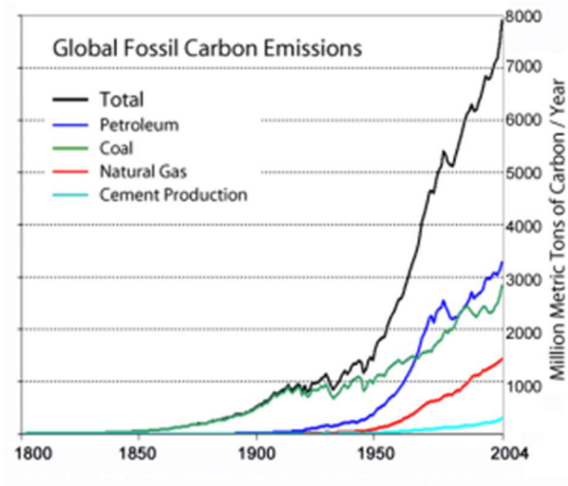


Breyting í magni CO₂ í lofthjúpnnum frá lokum sjötta áratugs og til ársins 2009



CO₂ magn úr ískjörnum (Law dome, Antarktíku) og svo samanburð við mæld gildi frá Hawai. Örvarnar sýna hvenær nokkur stór eldgos urðu.

Aukning CO₂ í andrúmsloftinu er að mestu vegna bruna jarðfnaeldsneytis, ljóst er að magn CO₂ í andrúmsloftinu er ekki að aukast af náttúrulegum orsökum, eins og t.d. við útblástur [eldfjalla](#) - það hefur verið staðfest með svokölluðum samsætumælingum (mælingar á hlutfalli milli C12, C13 og C14), en einnig fer það ekki milli mála ef skoðuð eru línurit sem sýna útblástur vegna bruna jarðfnaeldsneytis:



Útblástur CO₂ vegna bruna jarðefnaeldsneytis frá 1800 og fram til ársins 2004.

Geislunarbúskapur

Á einfaldan hátt þá sendir sólin frá sér orkuríka geisla sem skella á lofthjúp jarðar, hluti þeirra endurkastast, aðrir ná að hita upp jörðina sem sendir þá frá sér geisla sem ýmist fer út í geim eða að andrúmsloftið með hjálp gróðurhúsalofttegundanna gleypa þá, magna upp og geisla til jarðar aftur og magna þannig upp hita við jörðina.

Kiehl og Trenberth (1997) reiknuðu út hvernig orka sólar dreifist frá fyrstu snertingu við lofthjúp jarðar (greinin heitir Earth's Annual Global Mean Energy Budget og er ein af grundvallargreinum í þessum fræðum og notuð í nýjstu kennslubókum í loftslagsfræðum). Mynd þeirra er svona:

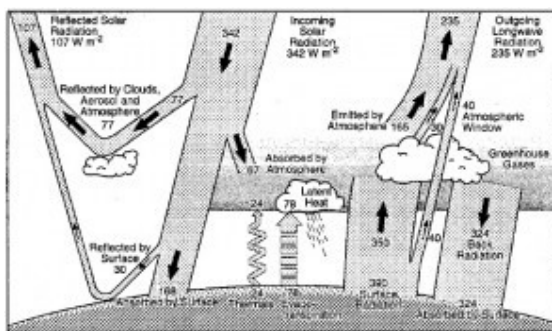
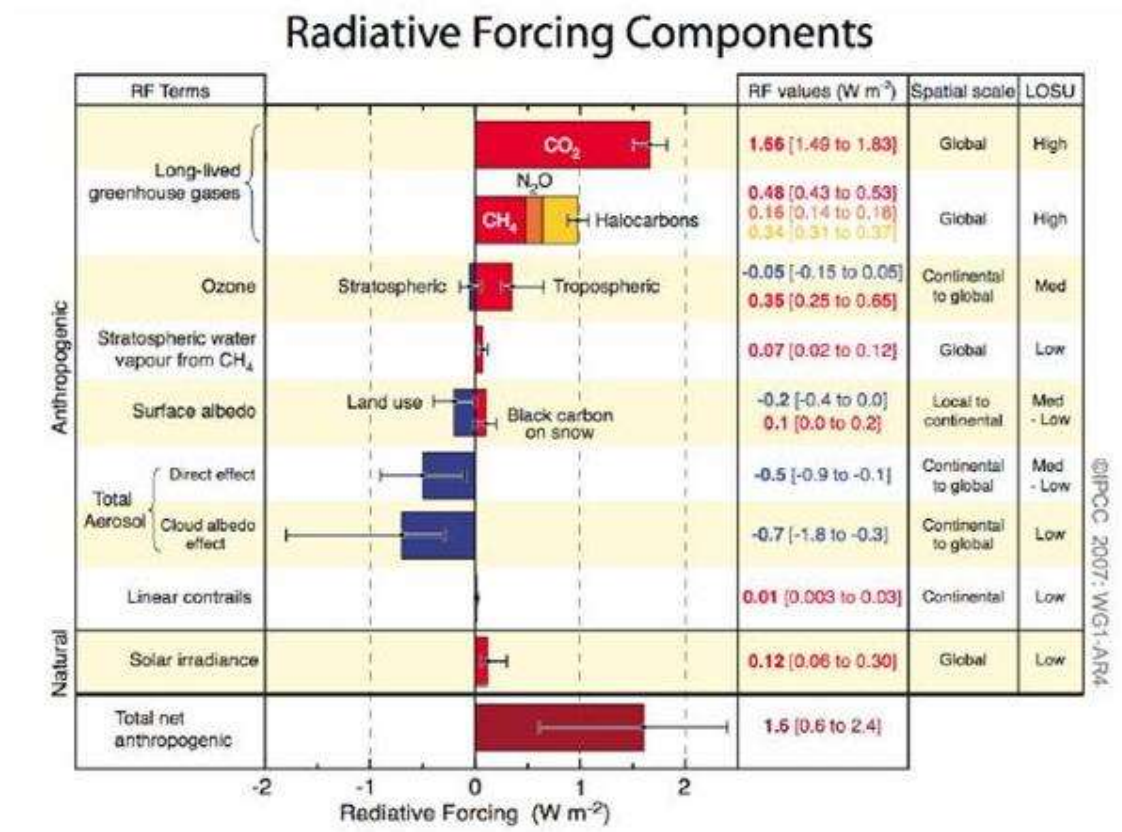


FIG. 7. The earth's annual global mean energy budget based on the present study. Units are $W m^{-2}$.

Orka frá sólinni kemur inn í lofthjúpin, hluti speglast út í geiminn, hluta gleypir lofthjúpurinn og hluta gleypir yfirborðið. Yfirborðið hitar lofthjúpin með beinni upphitun (Thermals) og uppgufun (Evapo Transpiration). Jörðin sendir einnig frá sér innrauða geisla (Surface Radiation) sem hita lofthjúpin, sem gleypir geislana og geisla henni að miklu leiti aftur til jarðar. Þetta hitar yfirborðið sem geislar þá meiru til loftshjúpsins. Í heild fær yfirborðið um tvöfalt meiri varma með endurgeislun frá lofthjúpinum en það fær frá sólinni. Mynd úr grein Kiehl og Trenberth 1997.

Aukning á gróðurhúsalofttegundunum eykur geislunina aftur til jarðar – jörðin hitnar. Útreikningar sýna að við tvöföldun á CO₂ einu í andrúmsloftinu leiði til þess að hiti hækki um 1,5-4,5°C.

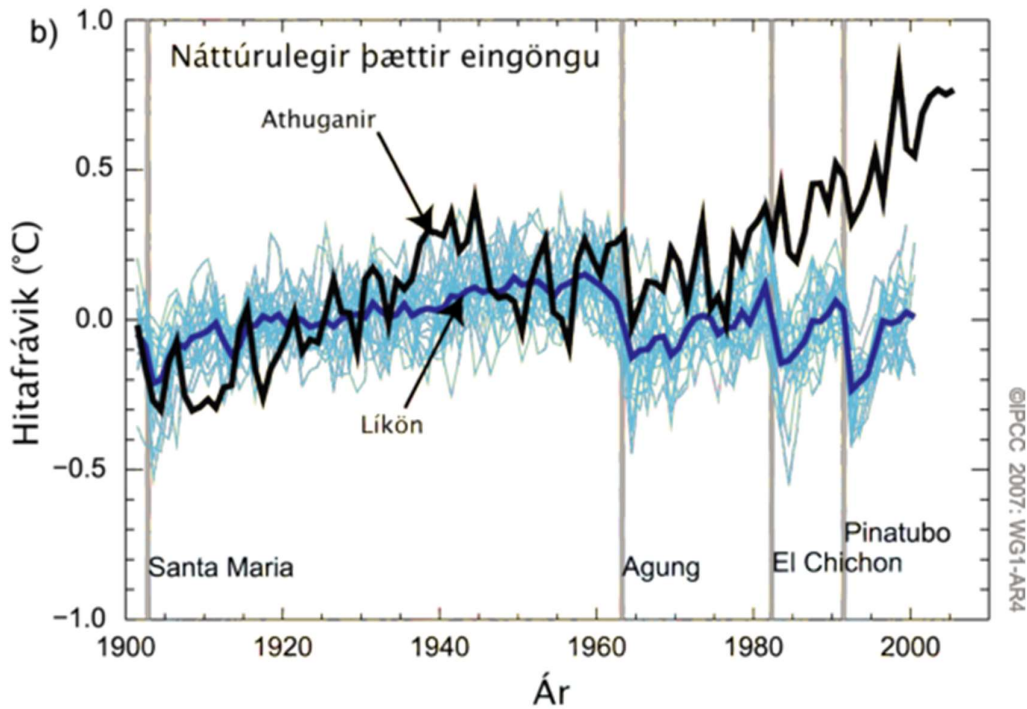
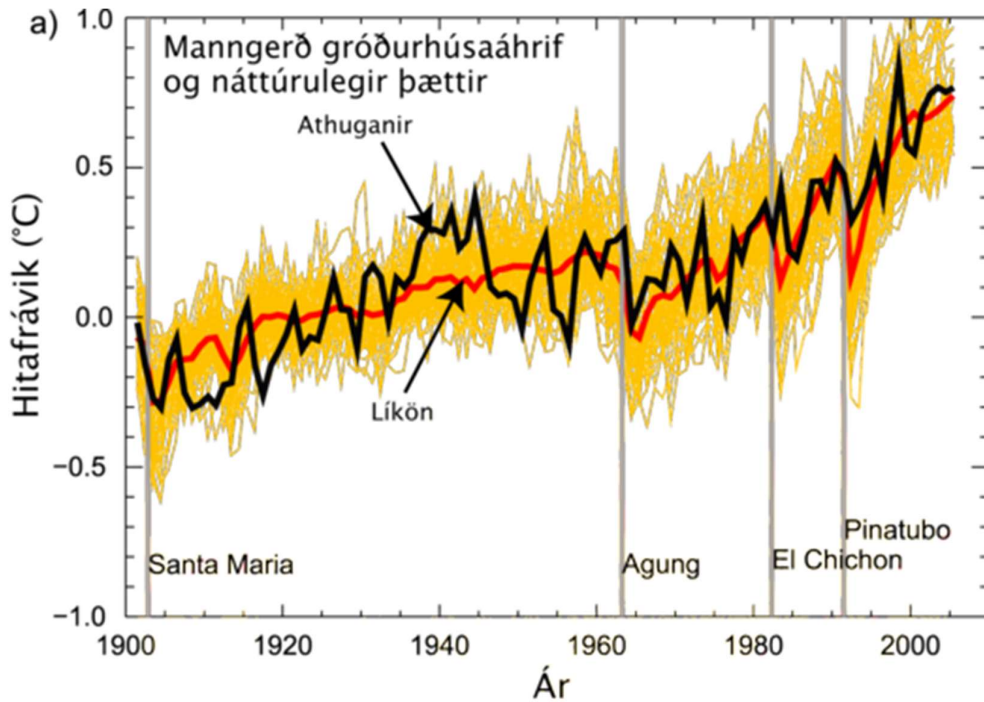
En aðrir þættir hafa breyst frá upphafi iðnbýltingarinnar og í skýrslu IPCC voru teknar saman þær upplýsingar sem til voru um hvað hefði breyst í geislunarbúskap jarðarinnar:



Geislunarálag (í W/m²) frá upphafi iðnbýltingar og helstu orsakabættir. Rauðar súlur sýna áhrif til hlýnunar jarðar en bláar til kólnunar. Sínd eru áhrif gróðurhúsalofttegunda, auk beinna og óbeinna áhrifa loftarða. Einnig eru sínd áhrif ósóns, vatnsgufu í háloftum, áhrif breytinga á yfirborði jarðar á endurskinsstuðul, áhrif flugslóða, og breytinga á sólgeislun. Þriðji dálkurinn sýnir mat á geislunarálagi þessara áhrifavalda. Fjórdi dálkurinn sýnir hversu víðfeðm áhrif hvers orsakabáttar eru, og fimmti dálkurinn gefur til kynna stöðu vísindalegrar þekkingar á hverjum orsakabætti. Mynd úr skýrslunni Hnattrænar loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi.

Langmesta breytingin er á geislunaráhrifum frá CO₂ og þar er þekkingin mest en einnig er aukning í geislunaráhrifum metans (metan CH₄ er þó í mun minna magni en CO₂, en áhrif hvers mólíkúls eru sterkari). Aðrar breytingar eru minni eða til lækkunar hita.

Gerð hafa verið loftslagslíkön sem endurspeglar þekktar breytingar helstu áhrifavalda hitastigs jarðar og hvernig geislunarálag þeirra hefur breyst og niðurstaða þeirra plottað saman við mælt hitastig:



a) Hitafrávik við yfirborð jarðar á síðustu öld. Svarta breiða línan sýnir athuganir, fíndregnu línurnar sýna niðurstöður margra loftslagslíkana þar sem geislunarálagið þróaðist í samræmi við aukningu gróðurhúsalofttegunda og náttúrulegra þátta (s.s. breytinga á sólgeislun og loftarða vegna eldgosu). Breiða rauða línan sýnir meðaltal líkananna. Stærstu eldgos á 20. öldinni eru einnig merkt inn á myndina. b) Eins og í a) - nema í loftslagslíkönunum var ekki tekið tillit til áhrifa gróðurhúsalofttegunda. Mynd og texti af vedur.is - heimild IPCC.

Það er talið að 90-95% líkur séu á því að aukning gróðurhúsalofttegunda vegna athafna mannkyns valdi megninu af þeirri hnattrænu hlýnun sem átt hefur sér stað síðan um miðja síðustu öld. Án kælandi áhrifa loftarða er líklegt að gróðurhúsalofttegundirnar einar sér hefðu valdið enn meiri hlýnun. Einnig er talið að 1-5% líkur séu á því að þessar hnattrænu hlýnun megi útskýra með náttúrulegum þáttum. Náttúrlegir þættir hefðu átt að leiða til kólnunar frá því um miðja síðustu öld samkvæmt gögnum vísindamanna.

Samantekt:

- Aukningin í CO₂ er vegna brennslu jarðefnaeldsneytis, þetta vitum við út frá kolefnissamsætum í andrúmslofti (hlutfall C-14, C13 og C12 sjá t.d. útskýringu á [Real Climate](#)). Auk þess sem það er augljóst ef skoðuð eru gröf sem sýna aukninguna sem orðið hefur frá upphafi iðnbyltingarinnar – ekki [hafid né eldgos](#), ekkert annað útskýrir aukninguna.
- Eðlisfræði CO₂, metans og annarra gróðurhúsalofttegunda segir okkur að þau geisla frá sér hita, nokkuð sem hefur verið vitað í [rúmlega öld](#)
- Hitastig hefur aukist gríðarlega síðan fyrir iðnbyltingu, ekki nóg með það þá hefur það aukist meira undanfarna nokkra áratugi en þekkt er í nánustu fortíð hvort heldur með beinum mælingum eða óbeinum mælingum. Tengslin við aukningu CO₂ vegna bruna eru augljós, þrátt fyrir sveiflur í hitastigi sem verða vegna náttúrulegra orsaka, t.d. breytinga í virkni sólar, El Nino eða eldfjalla. Þessar náttúrulegu sveiflur og aðrar útskýra á engan hátt þessa miklu uppsveiflu sem orðið hefur í hitastigi undanfarna áratugi.

Heimildir og frekari upplýsingar

Nánar má fræðast um grunnatriði kenningunnar um gróðurhúsaáhrifin og hlýnun jarðar í [Ritinu 2/2008](#) (og heimasíða [Veðurstofunnar](#)). Í raun ættu allir sem hafa áhuga á loftslagsbreytingum að lesa það sem stendur í Ritinu, auk þess sem bókin [Gróðurhúsaáhrif og Loftslagsbreytingar eftir Halldór Björnsson](#) (2008) fer ítarlega yfir bakgrunn kenningarinnar.

Grein Kiehl og Trenberth (1997) má lesa [hér](#) og skýrsluna Hnattrænar loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi má lesa [hér](#).

• Spurning

Hvað veldur gróðurhúsaáhrifum?

Spyrjandi

Ágúst Harðarson
Lilja Dís
Einir Björn Ragnarsson
Svenja Auhage
Birgir Stefánsson
Elín Ósk

Svar

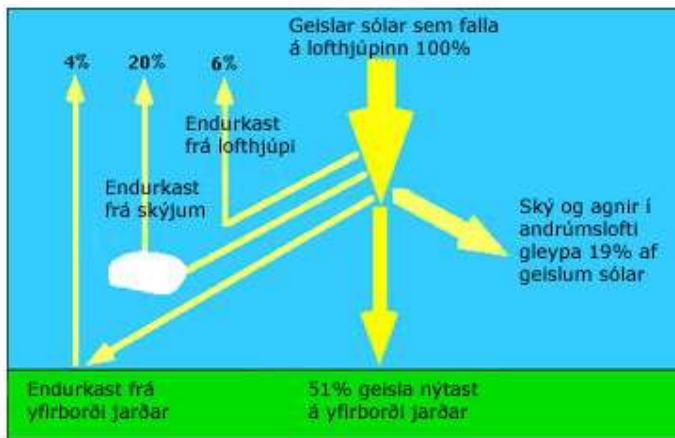
Hér er einnig svarað spurningunum:

- Hvað eru gróðurhúsaáhrif og hvernig virka þau?
- Af hverju eru loftslagsbreytingar nefndar gróðurhúsaáhrif ef þær eru ekki af völdum gróðurhúsa?

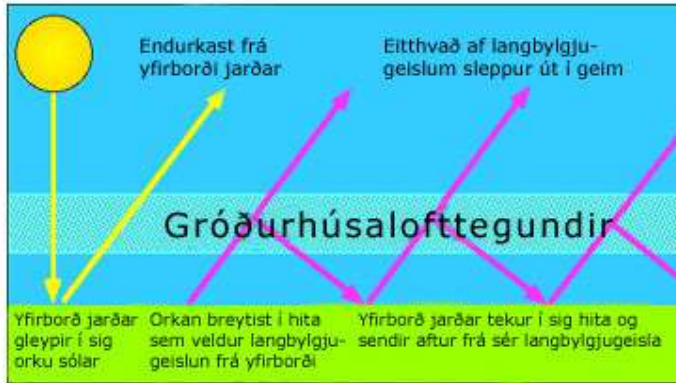
Fræðimenn eru nokkurn veginn sammála um að það sem veldur hækkun á hitastigi jarðar sé aukning á styrk svokallaðra gróðurhúsalofttegunda af mannavöldum. Sú lofttegund sem leikur hér lykilhlutverk er koltvíoxíð (CO_2). Meðal annarra gróðurhúsalofttegunda eru vatnsgufa, metan, tvínituroxíð (N_2O), óson (O_3) og ýmis halógen-kolefnissambönd sem framleidd eru í iðnaði.

Til þess að átta sig á verkan þessara efna og hvers vegna þau eru kennd við gróðurhús er mikilvægt að skoða hvernig geislar sólar hegða sér á jörðinni.

Þegar sólar geislar falla á lofthjúp jarðar endurkastast 26% þeirra strax aftur út í geiminn vegna frákafts frá skýjum og ýmsum ögnum í lofthjúpunum. Skýin og agnir í andrúmsloftinu gleypa svo í sig um 19% þeirra geisla sem berast frá sólu en afgangurinn, 55%, nær að yfirborði jarðar. Af þeim geislum er 4% varpað strax aftur út í geim. Hin 51% hafa margvísleg áhrif og valda meðal annars bráðnun jökla, uppgufun vatns og hitun yfirborðsins. Síðast en ekki síst nýtast þessir geislar til ljóstíllífunar plantna.



Geislar sólar sem ná yfirborði jarðar eru ljós og önnur rafsegulgeislun með stuttri bylgjulengd. Orka þeirra vermir jörðina og sendir þá jörðin frá sér sem varmageislun með talsvert meiri bylgjulengd en upphaflega ljósið. Aðeins brot af síðarnefndu geislunum berst þó út fyrir lofthjúpinn; meirihluti þeirra er fangaður af sameindum í andrúmsloftinu sem við nefnum í daglegu tali gróðurhúsalofttegundir. Geislunin frá yfirborði jarðar hitar sameindir þessara efna í lofthjúpunum og þær endurkasta hitageislum í allar áttir. Allt að 90% þessara geisla berast aftur til jarðar, hita hana og kastast svo aftur út í loftið. Þannig gengur þetta fyrir sig aftur og aftur. Því má segja að lofttegundirnar virki eins og gróðurhús þar sem þær halda varmanum innan lofthjúpsins svipað og loft og gler í gróðurhúsi heldur varmanum inni þó að húsið sé ef til vill ekki hitað upp sérstaklega.



Aukning gróðurhúsalofttegunda í andrúmslofti hækkar hita lofthjúpsins þar sem fleiri agnir eru til þess að gleypa í sig geislana og endurkasta þeim. Þetta getur haft slæmar afleiðingar fyrir lífríki jarðar. Þó má ekki gleyma því að gróðurhúsaáhrif eru náttúrulegt fyrirbæri í lofthjúpi jarðar og ef þeirra nyti ekki við væri allt að 33 °C kaldara á jörðinni. Meðalhiti jarðar væri þá allt að -18 °C en ekki +15 °C eins og nú er. Því leika gróðurhúsalofttegundir lykilhlutverk í því hversu lífvænlegt er á jörðinni.

Aukning á nokkrum gróðurhúsalofttegundum í andrúmsloftinu síðan 1750:

Efni	1750	Í dag	Hlutfallsleg aukning
Koltvioxíð	280 ppm	360 ppm	29%
Metan	0,70 ppm	1,70 ppm	143%
Nituroxíð	280 ppt	310 ppt	11%
Halógen-kolefnasambönd	0 ppt	900 ppt	-
Óson	Óþekkt	Breytilegt eftir hæð og breiddar- gráðum	Óson hefur minnkað í efstu lögum andrúmsloftsins en aukist nær jörðu

Frekara lesefni á Vísindavefnum:

- [Hvaða áhrif hefur hnattræn hlýnun á lífríki sjávar?](#) eftir Óskar Sindra Gíslason og Halldór Pálmar Halldórsson

Heimildir og myndir:

- Hocking, C., Sneider, C., Erickson, J. og Golden, R. 1992. *Global Warming and the Greenhouse Effect*. Great Explorations in Math and Science (GEMS) series. Berkeley, California: Lawrence Hall of Science.
- [Living Landscapes](#)
- [Solar Energy Atmospheric Cascade](#) á Living Landscapes
- [Greenhouse Effect](#) á Living Landscapes