

Hringrás kolefnis

Freyr Pálsson

Freyr Pálsson. 2005 (nóvember): Hringrás kolefnis á jörðinni. Ritgerð í jarðsögu 1 við Háskóla Íslands.

Kolefni er fjórða algengasta frumefnið í heiminum. Á jörðinni flyst það á milli gufuhvolfs, berghvolfs, vatnshvolfs og lífshvolfs í stórra hringrás sem er kölluð kolefnishringrásin. Í þessari hringrás hefur styrkur kolefnis í einu hvolfi áhrif á annað hvolf. Hægt er að skipta kolefnishringrásinni upp í tvær aðal hringrásir: jarðfræðilegu kolefnishringrásina og líffræðilegu kolefnishringrásina. Þessar hringrásir tvinnast þó á margan hátt samann. Nokkrir meginþættir geta haft áhrif á styrk kolefnis í mismunandi hvolfum t.d. veðrun á landi, greftrun dýra og plantna og skilun kolefnis til andrúmsloftsins.

Freyr Pálsson (frp1@hi.is), Tjarnagata 30, 101 Reykjavík, Ísland.

Þegar jörðin var að myndast skullu mörg smástirni á jörðina, mörg þessara smástirna innihéldu mikið af kolefni. Smá saman jókst kolefnismagn á jörðinni og náði því magni sem það hefur í dag 4,5 milljörðum ára síðar. Kolefni er byggingablokk alls lífs á jörðinni og án kolefnis væri líf á jörðinni ekki eins og það er í dag, ef það væri þá nokkurt. Kolefnishringrásin er hringrás sem, kemur allsstaðar við í okkar umhverfi, í gufuhvolfinu, í vatnshvolfinu, í berghvolfinu og í lífshvolfinu. Í þessari ritgerð mun farið í helstu kolefnishringrásir og athugað hvað helst hefur áhrif á breytileika kolefnisstyrks á milli hvolfanna fjögurra.

Kolefni sem gróðurhúsalofttegund

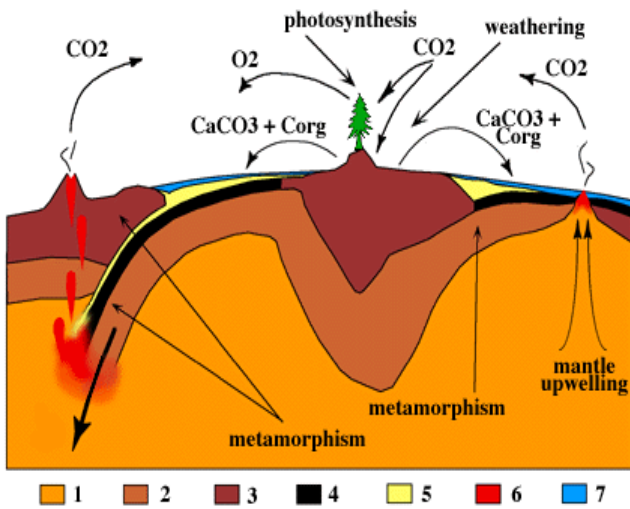
Kolefni í gufuhvolfinu er aðallega að finna sem CO₂. CO₂ er eitt aðal sem veldur gróðurhúsáhrifunum. Gróðurhúsalofttegundir valda því að varmageislar sem koma af endurkasti frá jörðinni fari ekki út úr gufuhvolfinu. Lofttegundirnar splundra geislanum í allar áttir og þar með aftur til jarðarinnar. Við þetta endurkast varmageysla helst hiti á jörðinni. Þegar það er mikið af CO₂ í

gufuhvolfinu er hlýrra á jörðinni. Hlutfallsleg skipting efna sem stuðla að gróðurhúsáhrifum eru N₂O(6%), CH₄(15%) og CFCs(24%), CO₂(55%).

Jarðfræðilega kolefnishringrásin

Frá fæðingu jarðar hefur CO₂ í sambandi við H₂O myndað veika sýru (kolsýra H₂CO₃) sem stuðlar að veðrun á kalsíum- og magnesíumríku bergi á jörðinni. Eftir að sýran er búinn að vinna á berginu flytur vatn Ca²⁺ og Mg²⁺ jónirnar til sjávar. Þegar í sjóinn er komið falla þessar jónir út og mynda set á sjávarbotni sem kalksteinn (CaCO₃) og dólómít (MgCO₃). Þarna er kolefnið bundið á sjávarbotni (sem set) í þúsundir til hundruð milljónir ára eða þar til sjávarsetið lendir á rekhrygg eða í niðurstreymisbelti. Eftir að sjávarlífverur komu fram er mestur hluti kalksteins komin úr lífrænu seti. Á rekhrygg eða á niðurstreymisbelti á sér stað uppbræðsla á setinu og út losnar CO₂. Ef sjávarsetsbunkinn er þykkur þá sekkur hann ekki í niðurstreymisbeltið vegna þess hve eðlisþyngd hans er lítil. Setið skefur þá upp á landið og verður hluti af fellingafjöllum sem myndast við

niðurstreymisbelti. Ef þessi setbunki myndbreytist brotnar kalksteinninn og dólómítið niður og skilar CO₂ aftur út í andrúmsloftið.



Mynd 1. Jarðfræðilega kolefnishringrásin. Corg er kolefni komið úr lífrænu seti.

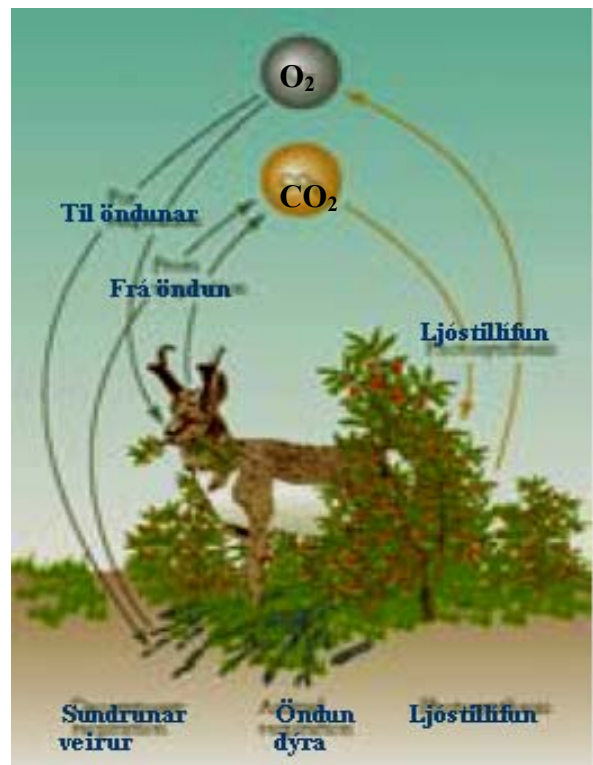
Jafnægið á milli veðrunar, niðurstreymis og eldvirkni stjórnaði styrk CO₂ í hundruðir milljónir ára, eða þar til lífið fór að þróast. Áður en plöntur komu fram var styrkur CO₂ í andrúmsloftinu 100 sinnum hærra en í dag, og þá var þetta aðal hringrás kolefnis, en í dag er þessi hringrás um 1000 sinnum minni en plöntu og dýra hringrásin og tekur miklu lengri tíma.

Lífræðilega hringrás kolefnis

Plöntur ljóstíllífa þ.e. þær nota vatn og koltvíoxíð til að búa til sykrur

$6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{orka} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ og fá orku sólar til að knýja þetta hvarf frá þetta hvarf gengur til baka við frumuöndun en þá losnar úr læðingi orka sem planta eða dýr nýtir sér til efnaskipta. Plantan brennir ekki öllum sykrinum heldur notar hann líka sem uppbyggingaefni, 50% af þurrvikt plöntu er kolefni. Þá er plantan

búinn að binda kolefni í sér, þannig tekur plantan meira CO₂ úr andrúmsloftinu heldur en hún skilar. Í þessu hvarfi er súrefni afgangsefni sem plantan losar út í andrúmsloftið. Dýr sem eru jurtaætur borða plönturnar, þau skila þá af sér kolefninum, sem voru bundin í plöntunum, á formi CO₂ við öndun til andrúmsloftsins. Dýr borða ekki allar plöntur, sumar plöntur sleppa aðrar eru óætar fyrir dýrin, þannig að alltaf eru einhverjar plöntur sem deyja óétnar. Þegar planta eða dýr deyr og er ekki étið af öðrum dýrum koma sundrunarverur til sögunnar en það eru bakteríur og sveppir sem éta plöntuleifarnar (sykrurnar) og koma afgangskolefni aftur til andrúmsloftsins í gegnum öndun á forminu CO₂ ef súrefni er til staðar, annars sem methan. Þá er hringnum lokað. Svipuð hringrás er í sjónum en þar eru plöntusvif frumbjarga lífverur.



Mynd 2. Lífræðilega hringrás kolefnis.

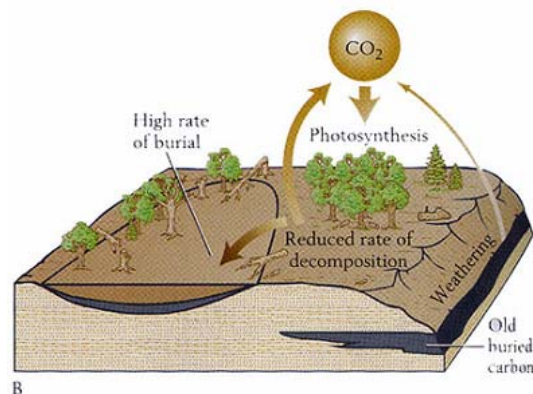
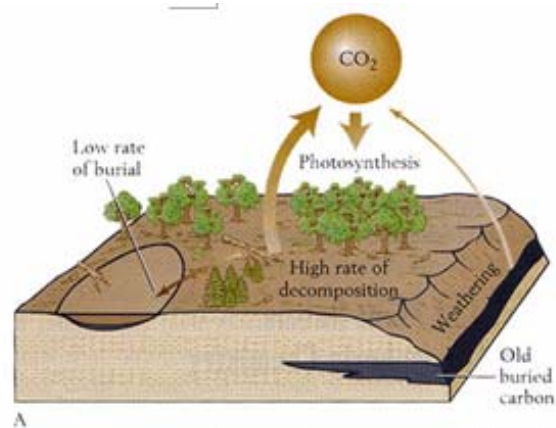
Greftrun plantna / kolefnis

Alltaf á sér stað e-s konar greftrun plantna á landi, og er það helst að finna á fenja og mýrasvæðum svo og á grunnsævi. Plöntur grafast í jörðina án þess að verða fyrir rotnun á þessum svæðum því þau eru súrefnissnauð eða að setmyndun er hröð og sundrendunarveirur hafa ekki við. Plönturnar verða þá að kolum með tímanum. Við greftrun erum við að taka kolefni úr andrúmsloftinu og binda það í seti. Upp á móti kemur að það er sífellt að eiga sér stað rof á jörðinni vegna ýmissa jarðfræðilegra ferla, rof getur þá opnað þessi svæði og hleypt rotnunarlífverum að, og öðrum ólífrænum ferlum sem skila koltvíoxíð aftur í andrúmsloftið. Þessi hringrás er yfirleitt í jafnvægi.

Ef mikil greftrun verður og ekki samsvarandi rof þá minnkar CO_2 magn í andrúmsloftinu og hlutfall súrefnis í andrúmsloftinu eykst á móti. Eins er ef mikið rof og skilun á kolefnum verður, hækkar magn CO_2 í andrúmsloftinu á móti minnkun súrefnis, oxun á kolefnum í andrúmslofti er mjög súrefnisfrekt ferli.

Í hafinu er þessu svipa farið að, þar sem CO_2 er til staðar í sjónum getur jurtasvif ljóstíllífað líkt og plönturnar. Ekki fellur eins mikið af jurtasvifi til greftrunar eins og plöntum þar sem stærri prósentu er étin af jurtavífi en plöntum. Þó geta landplöntur lagt sitt af mörkum til sjávarumhverfisins því ár flytja mikið af hálf rotnuðum plöntuleifum frá landi til vatna og sjávar þar sem þær geta grafist í set. Í djúpsævi getur líka orðið greftrun; ef sjórinn er súrefnissnauður sem gerist á talsverðu dýpi, getur

plöntusvif og aðrar dýraleifar sokkið til botns án þess að vera étin þar og grafist niður sem sjávarset.



Mynd 3. Greftrun kolefnis. Mynd A: Lítil greftrun, meira CO_2 í andrúmslofti. Mynd B: Mikil greftrun, minna CO_2 í andrúmslofti.

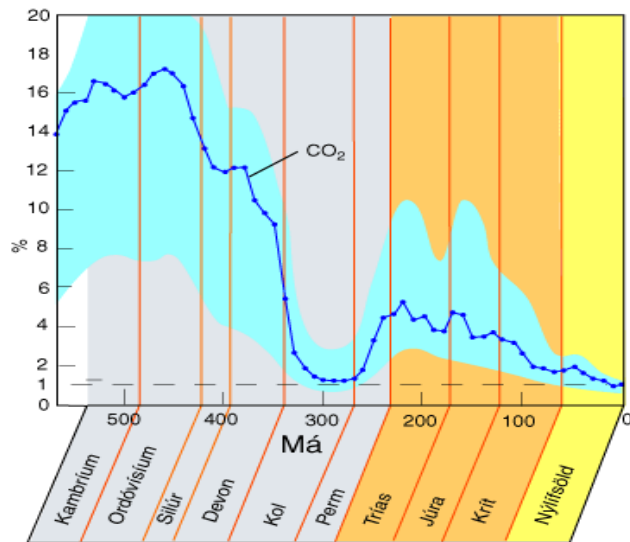
Kolefnisísótópurnar $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$.

Tvær stöðugar kolefnisísótópur eru á jörðinni C-13(1%) og C-12(99%). Hlutfall þeirra er yfirleitt stöðugt. Plöntur nota frekar C-12 heldur en C-13, ef mikil greftrun á sér stað verður þá hlutfallslega meira af C-13 heldur en C-12. Þegar mikið er af C-13 í setlagi má gera ráð fyrir að lítið hafi verið af CO_2 í andrúmsloftinu og mikið af súrefni, ef það er hlutfallslega mikið C-12 í setlagi þá er mikið af CO_2 í andrúmsloftinu.

Magn C-13 í bergi getur sagt okkur ýmislegt um hvernig ástand jarðarinnar var á þeim tíma, eins og hvort það hafi verið heitt eða kalt eða hversu mikið súrefni var til staðar.

Styrkur CO₂ á ýmsum tímum

Mikið CO₂ magn á Kambríum og Silúr bendir til mikilla gróðurhúsaáhrifa en þess verður að gæta að geislun sólar var ekki eins sterk og núna. Talið er að hitastig á þessum tíma hafi verið svipað og á miðlífsöld.



Mynd 4. Styrkur CO₂ í andrúmsloftinu í gegnum jarðsöguna.

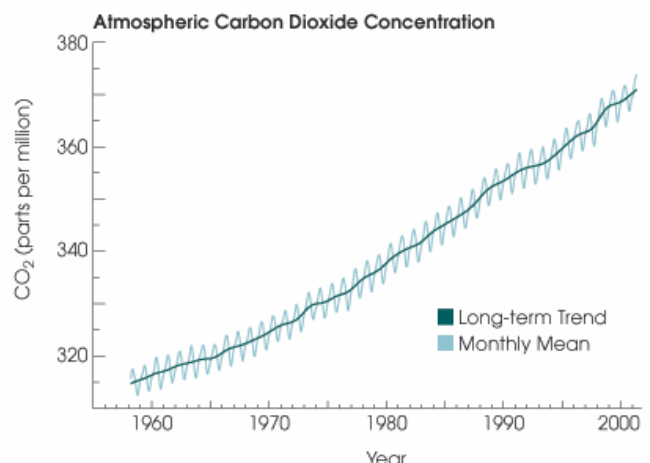
Það sem vekur mesta athygli á þessari mynd er hin mikla minnkun CO₂ á Devon og Kolatímabilinu. Þetta er skýrt þannig að á Devon fóru plöntur að dreifa sér á stærri landsvæði, færðu sig upp á þurrlandi og fóru að festa stærri rötum. Tréin ljóstillífa og skila auknu súrefni til baka til andrúmsloftsins í stað CO₂, og þá hækkar magn súrefnis á kostnað CO₂. Við aukin gróður margfaldast veðrun sem getur allt að 7 faldast ef gróður leggur undir sig gróðurvana land. Á Devon og sérstaklega Kolatímabilinu grófst mikið af plöntum í mýrum og fenjum en það batt

kolefni í jörðinni. Við þetta minnkaði CO₂ magn í andrúmsloftinu, gróðurhúsaáhrif minnkuðu, þetta olli kólnun og mikilli jöklun á suðurhveli jarðar.

Magn CO₂ hækkar aftur á miðlífsöld. Á miðlífsöld var mikið af þurru landsvæði og ekki mikil fjallgarðamyndun í gangi, þannig að það var ekki eins mikil veðrun og áður. CO₂ gat safnast upp aftur í gufuhvolfinu og hitastig hækkaði á ný.

Maðurinn og kolefnishringrásin

CO₂ í andrúmsloftinu mælist nú um 370ppm sem er meira en hefur verið í um 500 þúsund ár. Nútíma maðurinn skilar meira af kolefnum til andrúmsloftsins heldur en binst í kolefnisgeymum á jörðinni með því að brenna miklu af kolum og jarðgösnum (fossil fuel). Maðurinn ryður líka skóga fyrir landbúnað, en skóglendi skilar margfalt meira af súrefni til andrúmsloftsins en akrar og beitarlönd.



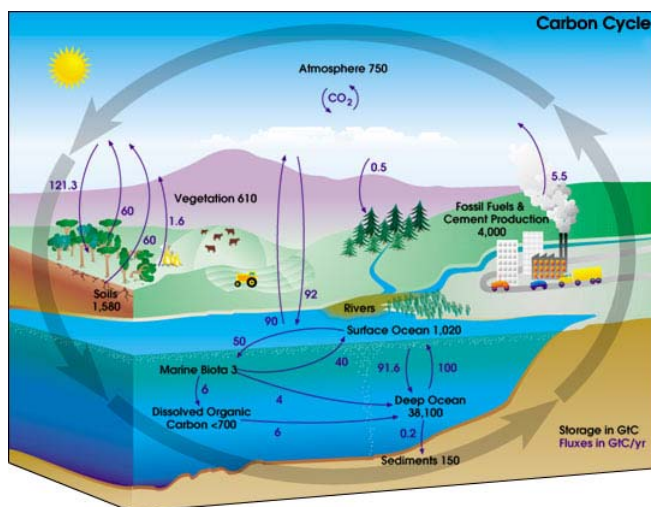
Mynd 5. Styrkur CO₂ í andrúmsloftinu 1960-2002.

Núverandi hækkun í CO₂ magni á jörðinni er um 1ppm af rúmmáli á ári, en það samsvarar $9 \cdot 10^9$ tonna aukningu árlega af CO₂. Vísindamenn

hafa reiknað út að með áframhaldandi aukningu koltvíoxíðs í gufuhvolfi verði koltvíoxíð magn árið 2010 orðið 25% meira en það var fyrir iðnbyltingu.

Niðurlag

Kolefnishringrásin er viðamikil hringrás sem hefur mikil áhrif á líf og hitafar á jörðu. Við getum lesið mikið um hitastig og samsetningu andrúmslofts jarðar á mismunandi tímum með því að skoða kolefnissamsetningu í seti. Kolefnishringrásin skiptir mannkynið miklu máli, því með áframhaldandi hækkun kolefnis í andrúmsloftinu hækkar hitastig jarðar. Aukið hitastig á jörðu leiðir til þess að jöklar bráðna, sjórinn þennst út og sjávarborð hækkar og mikil landsvæði, byggð og óbyggð fara undir sjávarmál. Hitastigið síðustu áratugi hefur hækkað um 0,3° á áratug, en athuga ber að það þarf ekki að vera af mannanna völdum heldur geta þetta verið náttúrulegar sveiflur. Enn er margt óvitað um kolefnishringrásina og eru vísindamenn sífellt að fá betri skilning á henni.



Heimildir

Chang, Raymond (2005). *Chemistry - International edition: Eighth edition*. New York: McGraw Hill.

Earth's Cycles. Columbia University. Skoðað 2. nóvember 2005 á veraldarvefnum: <http://rainbow.ideo.columbia.edu/courses/v1001/ccycle2.html>

EO Library: The Carbon Cycle. NASA. Skoðað 2. nóvember 2005 á veraldarvefnum: <http://earthobservatory.nasa.gov/Library/CarbonCycle/>

Global Carbon Cycle. (2004). Woods Hole Research Center. Skoðað 5. nóvember 2005 á veraldarvefnum: <http://www.whrc.org/carbon/>

Greenhouse Effect. Skoðað 2. nóvember 2005 á veraldarvefnum: <http://www.science.gmu.edu/~zli/ghe.html>

Hvernig lýsir frost- og efnaveðrun sér?. Háskóli Íslands. Skoðað 10. nóvember 2005 á veraldarvefnum: <http://visindavefur.hi.is/svar.asp?id=2507>

Jarðfræðiglósur GK-Jarðfræði Íslands-Jarðsaga. Guðbjartur Kristófersson. Skoðað 1.11.2005 á veraldarvefnum: <http://www.ismennt.is/not/gk/jfr/ordskyr/>

Stanley, Steven M. (2005). *Earth System History: Second edition*. New York: Freeman.

The Carbon Cycle. Skoðað 2. nóvember 2005 á veraldarvefnum: <http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/C/CarbonCycle.html>

USGS Carbon Cycle Research. U.S. Geological Survey. Skoðað 2. nóvember 2005 á veraldarvefnum: <http://geochange.er.usgs.gov/pub/carbon/>

Veðurhamfarir - Gróðurhúsaáhrif. Skoðað 10. nóvember 2005 á veraldarvefnum: <http://www.islandia.is/hamfarir/vedur/grodurhusaahrif.html>

9(r) The Carbon Cycle. Dr. Michael Pidwirny, University of British Columbia. Skoðað 5. nóvember 2005 á veraldarvefnum: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9r.html>.