

Klimat 2K: 350 ppm, eller kan vi ta bort koldioxid ur luften?

(På 3ⁱ minuter hinner du läsa det som står med fetstil och staplarna. ⁱⁱ Gör det nu.)

I mailet om tipping-points ⁱⁱⁱ så konstaterade vi att temperaturökningen aldrig får gå över 2 grader, och att halten av koldioxidekvivalenter i atmosfären snabbt måste tillbaka till 350 ppm. ^{iv} Just nu är halten nästan 400 ppm och den stiger med mer än 2 ppm per år. ^v

2 grader

Om jordens temperatur stiger med mer än ungefär 2 grader ^{vi} så kommer naturen själva att släppa ut så mycket växthusgaser (t.ex. från skogsbränder ^{vii}) så att det inte längre hjälper om människan inte släpper ut en enda molekyl till. Naturens egna utsläpp kan ändå öka temperaturen i en "skenande" ^{viii} global uppvärmning. ^{ix}

Haven värms upp långsamt. Det kan ta flera tusen år innan djuphaven har nått en jämviktstemperatur även om vi slutar att släppa ut växthusgaser nu. ^x

Det är svårt att veta exakt var temperaturen skulle hamna (och när den skulle nå dit) om vi skulle sluta att släppa ut växthusgaser idag, men klart är att den skulle bli flera tiondels grad högre än nu. Kanske ungefär den dubbla temperaturhöjningen jämfört med nu. (Hjälp mig gärna att hitta en vetenskaplig källa) **Det innebär att vi med redan gjorda utsläpp redan nu är farligt nära att en framtida jämviktstemperatur kommer att hamna över 2 grader.**

350ppm

Är det möjligt att sänka koldioxidhalten i luften till 350 ppm? Att ta bort koldioxid ur luften kostar energi. ^{xi} Med dagens industri-teknik kostar det drygt 4 kWh per kg CO₂. ^{xii} Till det kommer eventuell energi som krävs för lagringen av CO₂. Eftersom ett kolkraftverk genererar ungefär ett kilo koldioxid per producerad kWh ^{xiii} så **är det troligen aldrig lönsamt att släppa ut koldioxid i luften om man senare måste ta bort den igen.**

Tekniker för att ta bort koldioxid ur luften

Om vi försöker att härma de sydamerikanska indianernas sätt att tillföra kol till jorden för att skapa den bördiga "**terra preta**"^{xiv} så skulle vi kunna ta bort **8 ppm** ur luften på 50 år.^{xv}

Avskogning har släppt ut ca 30-90 ppm under de senaste hundratalen år. Om de **skogarna** återplanteras så kan de ta upp i alla fall en del av den koldioxiden igen, låt oss säga **30 ppm** på 50 år.^{xvi}

Om kraftverk med **CCS** (=koldioxidinfångning) eldas med **biologiskt bränsle** så kan den infångade koldioxiden tas bort från kolcykeln. Potentialen för biobränsle i världen är drygt 20 kWh/pp&d^{xvii}, potentialen för skogsavfall i världen är ca 11 kWh/pp&d^{xviii}, och potentialen för biogas i världen är drygt 4 kWh/pp&d^{xix}. Sammanlagt ca 36 kWh per person och dygn.^{xx} Kolet i den biomassan motsvarar ca 10 kg koldioxid per person och dygn.^{xxi} Om man fångar in hälften av den koldioxiden så skulle man kunna minska koldioxidhalten i atmosfären med 1,6 ppm per år.^{xxii} På 50 år blir det ca **80 ppm**. När man inför CCS i ett kraftverk så går ungefär 1/5 av energin åt till infångning och komprimering av koldioxiden.^{xxiii} Infångning och komprimering kostar alltså ca **3,6 kWh per person och dygn**.^{xxiv} (Efter att koldioxiden är insamlad och komprimerad så kvarstår problemet med lagring, men det kommer vi att ägna ett helt mail åt senare i kursen.^{xxv})

Med befintlig **industriell teknik** kan man ta bort koldioxid direkt ur atmosfären till en kostnad av drygt 4 kWh per kg koldioxid. Vi skulle kunna ta bort 0,5 ppm per år för **6,4 kWh per person och dygn**.^{xxvi} På 50 år blir det **24 ppm**. (Många andra tekniker har också diskuterats, men de är ännu så länge bara på experimentstadiet. Man har experimenterat med bl.a. artificiella träd som samlar in CO2 från luften.^{xxvii})

Den koldioxid vi fångar in med CCS och/eller industriella metoder måste också tas om hand. Det rör sig om ungefär 4 miljarder ton koldioxid som Sverige behöver lagra (eller 40 kubik-kilometer koldioxid vid 50 atmosfärers tryck).^{xxviii} Vi kommer att ägna ett helt mail senare i kursen åt olika lagringsalternativ.^{xxix}

Man kan grovt skilja på två olika typer av sådana här koldioxidsänkor.

- Den första är sänkor av engångstyp. Det är de sänkor där det finns utrymme för en viss mängd kol och inget mer. Hit hör t.ex. återskogning. Om alla jordens skogar återplanteras och växer upp igen så rymmer de mycket mindre än 100 ppm till. (En uppskattning från min sida.) När alla de skogarna har vuxit upp så finns det inte plats för mer nyplantering eller återplantering, och skogarna kan därför inte användas för att sänka koldioxidhalten ytterligare efter det. Till den här kategorin hör även utvinning av koldioxid för bränsle.^{xxx}

- Den andra typen är de metoder som kan ta bort en viss maximal mängd per år. Hit hör CCS vid eldning av biologiskt bränsle eftersom det inte går att ta bort kolet snabbare än det biologiska bränslet binder det. Hit hör också tekniska lösningar för att ta bort koldioxid ur luften p.g.a. bristen på energi för att driva den tekniska lösningen. (Samtidigt kan inte heller de här teknikerna ta bort mer CO₂ än vi har utrymme för att lagra.)

Efter att vi helt har slutat släppa ut fossilt kol kan vi alltså troligen ta bort i

storleksordningen $8+30+80+24 \approx 142$ ppm CO₂ ur luften på 50 år. För att kunna nå tillbaka till 350 ppm så bör vi alltså inte släppa ut en total mängd koldioxid som motsvarar mer än ca 492 ppm.^{xxxii} Det betyder att vi måste minska våra koldioxidutsläpp med 11% om året fr.o.m. år 2015.^{xxxiii} (Börjar vi minskningen senare så måste utsläppen minska ännu snabbare.) Om vi dessutom tar bort koldioxid ur atmosfären som beskrivet ovan fr.o.m. 2020 så kan koldioxidhalten vara tillbaka på 350 ppm ca år 2049, d.v.s. drygt 60 år efter att den först översteg 350 ppm.^{xxxiii}

Det förutsätter naturligtvis att vi inte innan dess har nått en tipping-point^{xxxiv} som gör att naturen själv släpper ut 0,5-2 ppm^{xxxv} per år...^{xxxvi}

Minskning av CO₂ i jordens atmosfär med ca 2,8 ppm per år: 10 kWh/pp&d

Bonus: Det diskuteras en del andra åtgärder som inte har med minskning av koldioxiden att göra, t.ex. minskning av metanutsläppen.^{xxxvii} De flesta sådana åtgärder motsvarar den första typen av koldioxidsänkor. D.v.s. de kan minska temperaturen till en viss del men inte mer.

Energiförbrukning (kWh/person och dygn):

Apparater, IT, Media & Underhållning: 5 kWh/pp&d ^{xxxviii}

Ljus: 3 kWh/pp&d ^{xxxix}

Bil: 14 kWh/pp&d ^{xl}

Flyg: 4,9 kWh/pp&d ^{xli}

Övrig persontransport: 1,7 kWh/pp&d ^{xlii}

Mat: 12 kWh/pp&d ^{xliii}

Vatten: 0,4 kWh/pp&d ^{xliv}

Jordbruk: 2,9 kWh/pp&d ^{xlv}

Värme och kyla: 33 kWh/pp&d ^{xlvi}

Grejer: 22 kWh/pp&d ^{xlvii}

Frakt: 19 kWh/pp&d ^{xlviii}

Offentlig sektor: 22 kWh/pp&d ^{xlix}

CO2 minskning: 10 kWh/pp&d

 150 kWh/pp&d

Total mängd förnybar energi vid full utbyggnad (kWh/person och dygn):

Vattenkraft: 29 kWh/pp&d ⁱ

Energi-grödor: 12 kWh/pp&d ⁱⁱ

Skogsavfall: 36 kWh/pp&d ⁱⁱⁱ

Torv: 7 kWh/pp&d ⁱⁱⁱⁱ

Biogas: 4,4 kWh/pp&d ^{liv}

Sopförbränning: 1 kWh/pp&d ^{lv}

Värmepumpar: 18 kWh/pp&d ^{lvi}

Vindkraft: 13 kWh/pp&d ^{lvii}

Vindkraft till havs: 4,8 kWh/pp&d ^{lviii}

Sol på tak: 3 kWh/pp&d ^{lix}

Vätgas: 0 kWh/pp&d ^{lx}

Metanol: 0 kWh/pp&d ^{lxi}

Trädplantering: 0 kWh/pp&d ^{lxii}

 129 kWh/pp&d

Bonus: Litet men positivt: Med intensiv forskning och stordriftsfördelar så kanske det inte behöver kosta mer än 1,40 kr extra per kWh att ta bort koldioxid ur luften. ^{lxiii}

Humor-bonus ^{lxiv}:

<http://www.cartoonmovement.com/depot/cartoons/2011/08/GClOyZeNSOOf2dFgN1GiQ.jpeg>

Mer information om denna klimat-utbildning finns på:

<http://klimatcbt.yolasite.com/>

Dagens uppgift är att i det här mailet läsa det som står med fetstil och sammanställningen med staplarna.

Försök att alltid utföra dagens uppgift direkt när du får mailet. Om du bara har 3 minuter, så slutför uppgiften så bra som den hinner bli på 3 minuter.

Detta mail kan även laddas ner som PDF från:

http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2K_350ppm.pdf

Bonus: Nästa mail kan laddas ner som PDF från:

http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat1L_LagetJustNu.pdf

Om du inte längre vill gå kursen så meddela mig på adress

<http://klimatcbt.yolasite.com/kontakt.php> , så tar jag bort dig från sändningslistan.

(Du har väl lagt till <http://klimatcbt.yolasite.com/kontakt.php> antingen i din adressbok, eller bland betrodda avsändare i ditt spamfilter? Annars kan vissa kursmail fastna i ditt spamfilter. Skriv till mig på <http://klimatcbt.yolasite.com/kontakt.php> om du vill ha hjälp med det, eller om du saknar något kursmail.)

Det som står i fotnoterna är alltid bonusmaterial.

ⁱ Fotnot 0.14: Tre minuter per mail räcker för att följa kursen Klimat-CBT. Mer information finns på <http://klimatcbt.yolasite.com/>

ⁱⁱ Fotnot 2.1.O: Jag sammanfattar mailen om olika energislag i några meningar med fetstil. Om du hör till dem som ogillar matematik, så hoppa över matten, läs texten (åtminstone det som står med fetstil eller färg) och titta på staplarna. Resten är bonusmaterial. Den här klimat-utbildningen innehåller ingen obligatorisk matte!

ⁱⁱⁱ Fotnot KM.1G: Kurs-mail "Klimat 1G: Tipping-points" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat1G_Tippingpoints.pdf)

^{iv} Fotnot 1.X.11: 350 ppm (http://en.wikipedia.org/wiki/Climate_change_mitigation_scenarios#350_ppm)
(Se även (Fotnot 1.AC:))

Fotnot 1.AC: Det står och väger:

- Med enbart de åtgärder som diskuteras politiskt kommer världen att värmas upp nästan 4 grader under det här århundradet. (Fotnot 1.Q:)
- Vi har redan byggt eller projekterat all infrastruktur som vi kan använda för fossila bränslen. (Fotnot 1.J:)
- Utsläppen ökar fortfarande varje år. (Fotnot 4.X.17:)
- "IEA varnar: Vi är på väg mot sex grader" (<http://miljoaktuellt.idg.se/2.1845/1.450824/iea-varnar-vi-ar-pa-vag-mot-sex-grader>)
- 2°C är inte gränsen för ofarlig uppvärmning, utan gränsen mellan farlig och mycket farlig uppvärmning. (Fotnot 1.N:)
- Fortfarande kan vi (troligen) stoppa uppvärmningen före 2°C. (Fotnot 2.3.D:)
- Fortfarande kan vi (troligen) ta oss tillbaka till 350 ppm.
- Varning Åsikt (Fotnot 0.5:): Även om åtgärderna är svåra att få igenom så är de troligen mycket lättare än att försöka leva i en 5°C eller 6°C varmare värld. (Fotnot 3.X.30:)

Fotnot 1.Q: Med enbart de åtgärder som anses "politiskt tänkbara" kommer världen att värmas upp nästan 4 grader under det här århundradet enligt en rapport från Världsbanken 2012:

"The emission pledges made at the climate conventions in Copenhagen and Cancun, if fully met, place the world on a trajectory for a global mean warming of well over 3°C. Even if these pledges are fully implemented there is still about a 20 percent chance of exceeding 4°C in 2100.10 If these pledges are not met then there is a much higher likelihood—more than 40 percent—of warming exceeding 4°C by 2100, and a 10 percent possibility of this occurring already by the 2070s, assuming emissions follow the medium business-as-usual reference pathway." (

http://climatechange.worldbank.org/sites/default/files/Turn_Down_the_heat_Why_a_4_degree_centigrade_warmer_world_must_be_avoided.pdf)

Världsbanken om klimatförändringarna: <http://climatechange.worldbank.org/>

En 3 minuters film från världsbanken: <http://www.youtube.com/watch?v=CQbOII0YQNs>

Fotnot 1.J: Vi har redan byggt eller projekterat i princip all infrastruktur som vi kan använda för fossila bränslen:

“The world is locking itself into an unsustainable energy future which would have far-reaching consequences, IEA warns in its latest World Energy Outlook ... The WEO presents a 450 Scenario ... the globally agreed goal of limiting the temperature rise to 2°C. Four-fifths of the total energy-related CO₂ emissions permitted to 2035 ... are already locked-in by existing capital stock ... Without further action by 2017, the energy-related infrastructure then in place would generate all the CO₂ emissions allowed in the 450 Scenario up to 2035. Delaying action is a false economy: for every \$1 of investment in cleaner technology that is avoided in the power sector before 2020, an additional \$4.30 would need to be spent after 2020 to compensate for the increased emissions.”
(<http://www.iea.org/newsroomandevents/pressreleases/2011/november/name,20318,en.html>)

Fotnot 4.X.17: 2010: “Carbon Emissions Show Biggest Jump Ever Recorded” (<http://www.nytimes.com/2011/12/05/science/earth/record-jump-in-emissions-in-2010-study-finds.html>)

2011: “Global CO₂ emissions hit record in 2011 led by China: IEA” (<http://www.reuters.com/article/2012/05/24/us-co2-iea-idUSBRE84N0MJ20120524>)

2012: “Monitoring stations across the Arctic this spring are measuring more than 400 parts per million” (<http://www.guardian.co.uk/world/feedarticle/10266256>)

2012: “second highest rise in carbon emissions since record-keeping began in 1959” (<http://bigstory.ap.org/article/us-scientists-report-big-jump-heat-trapping-co2>)

Fotnot 1.N: “impacts associated with 2°C have been revised upwards, sufficiently so that 2°C now more appropriately represents the threshold between ‘dangerous’ and ‘extremely dangerous’ climate change” (<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/369/1934/20.abstract>)
Se även (Fotnot 2.1.BN:)

Fotnot 2.3.D: Utdrag ur GDR 6 page executive summary:

Vår ... slutsats är att 2°C-målet (Fotnot 1.I: ö.a.) verkligen kan hållas men att detta kräver en skarp brytning med den nuvarande politiken. Därför följer vi vetenskapen, och fastställer ett övergripande utsläppsmål - en "2°C-Nödutväg" - som ger oss en verklig chans att klara 2°C-målet, och sedan tar vi itu med att bedöma de strategier och anpassningar som kommer att vara nödvändiga att nå det utsläppsmålet.

“Our ... conclusion is that the 2°C line can indeed be held, but that doing so demands a sharp break with politics as usual. Accordingly, we follow the science, defining a global emissions objective – a “2°C emergency pathway” – that preserves a real chance of holding the 2°C line, and then setting out to straightforwardly assess the strategies and accommodations that will be necessary to do so.”
(http://gdrights.org/wp-content/uploads/2009/01/gdrs_execsummary.pdf) (Fotnot 0.2:)

(Se även (Fotnot 2.3.B:))

Fotnot 3.X.30: Att säga att GDR (och alla andra fördelningar som krävs för att verkligen stoppa klimatförändringarna) är politiskt omöjligt. Det är detsamma som att säga att 2°C-målet (Fotnot 1.I:) eller 350 ppm målet är politiskt omöjliga.

Det är i sin tur detsamma som att säga att det är politiskt omöjligt att förhindra de tipping-points som inträffar runt 2°C eller 350 ppm ...

... och det är i sin tur detsamma som att säga att det är politiskt omöjligt att förhindra MYCKET högre temperaturer.

Detta handlar om våra barns överlevnad! Är du beredd att godta att ett långt liv för dem som föds nu är "politiskt omöjligt"? Eller är du beredd att kämpa för dina barns liv?

Tänk på ditt barns eller ditt barnbarns ansikte nu och BESTÄM dig.

Fotnot 0.5: Det är viktigt att skilja mellan åsikter och vetenskapliga fakta. Avsikten är att alla påståenden i den här kursen ska vara verifierbara vetenskapliga fakta. Det är därför jag är så noga med att inkludera alla källor i fotnoterna. När jag skriver något som är min egen personliga åsikt så markerar jag det så här.

Mina åsikter är naturligtvis alltid bonusmaterial och inte en obligatorisk del av kursen.

Fotnot 2.1.BN: Professor Kevin Anderson - Climate Change: Going Beyond Dangerous (<http://www.slideshare.net/DFID/professor-kevin-anderson-climate-change-going-beyond-dangerous>)

Se även (Fotnot 1.N:) och (Fotnot 1.AC:)

Fotnot 2.3.B: Utdrag ur GDR "A 350 ppm Emergency Pathway":

Vi kan bevara en rimlig sannolikhet (ca 75%) för att hålla uppvärmningen under 2 ° C, förutsatt att kumulativa CO₂-utsläpp mellan 2000 och 2050 hålls under 1000 gigaton CO₂ och jämförbara minskningar görs i icke-CO₂ växthusgaser ... 330 gigaton av denna 1000 gigatonne budget har redan förbrukats mellan 2000 och 2009.

Här är detaljer för ... 2°C-Nödutvägen ... 2050 utsläppsmål (som % under 1990) ... -86%

"we can preserve a reasonable probability (about 75%) of keeping warming below 2°C, provided that cumulative CO₂ emissions between 2000 and 2050 are kept below 1000 gigatonnes of CO₂ and comparable reductions are made in non-CO₂ greenhouse gases ... 330 gigatonnes of this 1000 gigatonne budget was already consumed between 2000 and 2009" "Here are the details of ... 2°C pathway ... 2050 emissions (as a % below 1990) ... -86%"

(<http://gdrights.org/2009/10/25/a-350-ppm-emergency-pathway-2/>) (Fotnot 0.2:)

Fotnot 0.2: Ramverket "Greenhouse Development Rights" beskrivs under Källor. (

<http://klimatcbt.yolasite.com/kallor.php>)

Ramverkets hemsida: (<http://gdrights.org/2009/02/16/second-edition-of-the-greenhouse-development-rights/>)

En presentation av GDR på Engelska: (<http://www.youtube.com/watch?v=Y3S9c1ZbcII>)

De första 48 minuterna är ett föredrag om GDR, och resten är frågestunden efter föredraget.

^v Fotnot 2.1.J: Före industrialiseringen var koldioxidhalten ca 330 ppm. (

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/spmssp-human-and.html)

1988 var koldioxidhalten ca 350 ppm.

Nu är halten nästan 400 ppm och den stiger med mer än 2 ppm per år.

(<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>)

^{vi} Fotnot 1.I: Uttrycket "två graders målet" syftar på målet att hålla den globala uppvärmningen under 2 grader:

"2°C over the pre-industrial average has, since the 1990s, been commonly regarded as an adequate means of avoiding dangerous climate change, in science and policy making. However, recent science has shown that the weather, environmental and social impacts of 2°C rise are much greater than the earlier science indicated, and that impacts for a 1°C rise are now expected to be as great as those previously assumed for a 2°C rise." (

http://en.wikipedia.org/wiki/Avoiding_dangerous_climate_change#Avoiding_dangerous_climate_change_in_the_current_scientific_context)

Se även (Fotnot 2.1.BN:) & (Fotnot 1.N:)

^{vii} Fotnot 2.3.C: Wildfires and Climate Change: (<http://youtu.be/tlgDbxlaZIE>)

(Bonus: Se även (Fotnot 2.3.X.3:))

Fotnot 2.3.X.3: Fram tills tusenårs-skiftet fick den ökade mängden koldioxid skogarna att i genomsnitt växa till, men sedan dess har biomassan (Fotnot 1.H:) i stället minskat:

(<http://www.dn.se/nyheter/vetenskap/jordens-vaxter-tappar-kraft-1.1156942>)

(<http://www.sciencedaily.com/releases/2010/08/100820101504.htm>)

(<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=45380>)

(<http://www.usatoday.com/story/news/nation/2013/02/26/nasa-climate-change-forests-eastern-us/1949133/>)

(<http://www.nytimes.com/2012/12/25/science/los-alamos-national-laboratory-studies-tree-deaths.html>)

Vid 4 graders uppvärmning kan jorden se ut så här:

(<http://www.newscientist.com/data/images/archive/2697/26971701.jpg>)

... och på en femtedel av jordytan är nuvarande ekosystem då inte längre möjliga: (

<http://sverigesradio.se/sida/gruppsida.aspx?programid=406&grupp=12718&artikel=5510899>)

(Bonus: Se även (Fotnot 2.3.C:))

Fotnot 1.H: Biomassa betyder ungefär "vikten av allt som är levande eller nyligen har dött". När man säger att växande skogar tar upp kol så menar man att biomassan ökar. Kolet är dock bara bundet så länge skogen finns kvar. När skogen bränns eller förmultnar så frigörs kolet som koldioxid igen. Så länge den totala mängden biomassa på jorden är konstant, så är också mängden kol som är bundet i dem konstant.

^{viii} Fotnot 2.1.X.36: Ofta använder man den engelska termen run-off.

^{ix} Fotnot 0.1: Boken "Sex grader, vår framtid på en varmare jord" av Mark Lynas beskrivs under Källor.

(<http://klimatcbt.yolasite.com/kallor.php>) Om du vill ha en grundligare förståelse för vad som kommer att hända om vi inte stoppar klimatförändringarna, så rekommenderar jag varmt att du läser boken. Den finns på biblioteket, den finns att köpa på t.ex. (

<http://www.adlibris.com/se/product.aspx?isbn=9170373612>), eller du kan få ett exemplar av mig.

^x Fotnot 2.1.X.37: "following a complete cessation of carbon dioxide emissions in 2100, ... our projections show warming at intermediate depths in the Southern Ocean that is many times larger by

the year 3000 than that realized in 2100.” (<http://www.nature.com/ngeo/journal/v4/n2/abs/ngeo1047.html>)

^{xi} Fotnot 2.1.X.38: “grabbing CO₂ from thin air and concentrating it requires energy. The laws of physics say that the energy required must be at least 0.2 kWh per kg of CO₂ ... Given that real processes are typically 35% efficient at best, I’d be amazed if the energy cost of carbon capture is ever reduced below 0.55 kWh per kg” (http://www.inference.phy.cam.ac.uk/withouthotair/c31/page_244.shtml) (Fotnot 0.3:)

Fotnot 0.3: Boken ”Sustainable Energy – without the hot air” beskrivs under Källor. (<http://klimatcbt.yolasite.com/kallor.php>)

Det här är en föreläsning på engelska där professor David MacKay som har författat boken sammanfattar mycket av de slutsatser vi kommer att komma fram till. (<http://www.youtube.com/watch?v=GFosQtEqzSE>) Filmen är drygt en timme lång. Föredraget är 47 minuter, och resten av tiden är en frågestund efter filmen.

I föredraget nämner han den här kalkylatorn: (<http://2050-calculator-tool.decc.gov.uk/>)

Detta är ett annat föredrag av professor David MacKay som också är väl värt att titta på. Det är knappt 20 minuter långt (<http://www.youtube.com/watch?v=-5bVbfWuq-Q>) och detta är de slides han visar under presentationen (<http://www.inference.phy.cam.ac.uk/mackay/presentations/tes/>)

^{xii} Fotnot 2.1.Q: Koldioxid skulle kunna tas bort direkt ur luften. Den här artikeln räknar på hur mycket det skulle kosta med befintliga industriella metoder. (<http://arxiv.org/abs/0804.1126>) (Fotnot 2.1.BX:) Av TABLE B.3 framgår energiåtgången per ton kol för de olika process-stegen: Calcination 40GJ/tC, Aminecapture 0.4+14GJ/tC, CO₂ compression 1.6GJ/tC, Contacting Spray tower 1.0GJ/tC. Den totala energikostnaden per ton CO₂ skulle alltså bli:

$40+0,4+14+1,6+1 \approx 57 \text{ GJ/tC}$

En kWh motsvarar 3,6 miljoner Joule (<http://en.wikipedia.org/wiki/Kwh>) och ett ton kol motsvarar 3,7 ton CO₂ (Fotnot 1.C:) så 57 GJ/tC motsvarar:

$57 \text{ GJ/tC} / 3,6 \text{ MJ/kWh} / 3,7 \text{ tCO}_2/\text{tC} \approx 4,3 \text{ kWh per kg CO}_2$

En ppm CO₂ i atmosfären motsvarar 7,8 miljarder ton CO₂. (Fotnot 2.1.K:) Att ta bort 0,49 ppm om året med befintlig teknik skulle alltså kosta:

$0,49 \text{ ppm} * 7,8 \text{ GtonCO}_2/\text{ppm} * 4,3 \text{ kWh/kgCO}_2 / 7000000000 \text{ människor} / 365 \text{ dygn} \approx 6,4 \text{ kWh per person och dygn.}$

(Koldioxidutbytet med haven försummas här. Jag är bara ute efter en grov uppskattning.)

Fotnot 2.1.BX: "Target atmospheric CO₂: Where should humanity aim?" (<http://arxiv.org/abs/0804.1126>)

Fotnot 1.C: När kol förbränns till koldioxid så binder varje kol-atom två syre-atomer. Atomvikten är 12 för kol och 16 för syre. 12 kg kol förbränns alltså till: $12 + 2 * 16 = 44$ kg koldioxid

Det betyder alltså att varje kg kol blir $44/12 \approx 3,7$ kg koldioxid

Fotnot 2.1.K: Hur många ton CO₂ motsvarar en ppm i atmosfären?

Atmosfären väger ca $5 * 10^{18}$ kg (en femma följd av 18 nollor) (

http://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Earth#Density_and_mass)

Atmosfären består huvudsakligen av 21% syre och 79% kväve.

Molekylvikten för O₂ är: $2 * 16\text{g/mol} \approx 32\text{g/mol}$ (<http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen>)

Molekylvikten för N₂ är: $2 * 14\text{g/mol} \approx 28\text{g/mol}$ (<http://en.wikipedia.org/wiki/Nitrogen>)

En mol atmosfär väger alltså: $21\% * 32\text{g/mol} + 79\% * 28\text{g/mol} \approx 29\text{g/mol}$

I atmosfären finns det då totalt: $5 * 10^{18}\text{kg} / 29\text{g/mol} \approx 1,8 * 10^{20}\text{mol}$

ppm betyder "Parts Per Million", d.v.s. miljondelar. (Fotnot 2.1.AQ:) En ppm koldioxid är följaktligen: $1,8 * 10^{20}\text{mol} / 1000000 \approx 178000$ miljarder mol

Molekylvikten för CO₂ är 44 g/mol (http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide)

Vikten av en ppm CO₂ är alltså: $178000\text{Gmol} * 44\text{g/mol} \approx 7,8$ miljarder ton CO₂

Fotnot 2.1.AQ: Förkortningen ppm står för Parts Per Million, alltså miljondelar. Om koldioxidhalten i atmosfären vore 390 ppm så skulle 390 stycken av varje 1000000 molekyler i luften vara koldioxid-molekyler.

(Jämför med % som betyder 100-delar. Om koldioxidhalten i atmosfären vore 1% så skulle 1 stycken av varje 100 molekyler i luften ha varit koldioxid-molekyler.)

^{xiii} Fotnot 2.1.AK: "The average emission rates in the United States from coal-fired generation are: 2,249 lbs/MWh of carbon dioxide, 13 lbs/MWh of sulfur dioxide, and 6 lbs/MWh of nitrogen oxides." (<http://www.epa.gov/cleanrgy/energy-and-you/affect/coal.html>)

Enheten lbs eller lb (pounds) är 0,45 kg. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Pound_\(mass\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Pound_(mass)))

Koldioxidutsläppen från produktionen av 1kWh elektricitet producerad i kolkraftverk är alltså ca: $1\text{kWh} * 0,45\text{kg/lb} * 2,249\text{lbs/MWh} \approx 1,02\text{kg}$ koldioxid

^{xiv} Fotnot 2.1.X.40: Terra preta (http://en.wikipedia.org/wiki/Terra_preta)

Forskning pågår: (<http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=412&artikel=5039427>)

(Bonus: Kanske kan nötkött som producerats med "Holistic Management Planned Grazing" skapa en modern form av Terra Preta. (Fotnot 1.V:))

Fotnot 1.V: Varning Åsikt (Fotnot 0.5): Detta är inte vetenskaplig konsensus, men jag tycker att det är intressant:

"How to green the world's deserts and reverse climate change" (

<http://www.youtube.com/watch?v=vpTHi7O66pl&list=PLyIphAcpQgZrQIvAybaWRcgykivKJuoC1>)

^{xv} Fotnot 2.1.V: "Replacing slash-and-burn agriculture with slash-and-char and use of agricultural and forestry wastes for biochar production could provide a CO₂ drawdown of ~8 ppm or more in half a century" (<http://arxiv.org/abs/0804.1126>) (Fotnot 2.1.BX:)

^{xvi} Fotnot 2.1.X.41: "Deforestation contributed a net emission of 60±30 ppm over the past few hundred years, of which ~20 ppm CO₂ remains in the air today. Reforestation could absorb a substantial fraction of the 60±30 ppm net deforestation emission." (<http://arxiv.org/abs/0804.1126>) (Fotnot 2.1.BX:)

^{xvii} Fotnot 2.1.L: "potential for liquid biofuels in the order of 75–300 EJ year⁻¹" (

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2006.09.002>) (E står för exa som är 1000 upphöjt till 6.)

Låt oss räkna på 188 som är genomsnittet av 75 och 300. Mängden energi per person och dygn blir då:

$188 \text{ EJ/år} / 7000000000 \text{ människor} / 365 \text{ dygn} \approx 20 \text{ kWh per person och dygn}$

^{xviii} Fotnot XXXVII: 32% av jordens 149 miljoner kvadratkilometer land är skog. (

http://en.wikipedia.org/wiki/Earth#Natural_resources_and_land_use)

Sveriges 220000 kvadratkilometer skog (Fotnot 2.1.N:) producerar skogsavfall motsvarande 130 TWh energi som kan tillvaratas. (Fotnot XXXII:) Om världens 32% * 149Mkm = 47 miljoner

kvadratkilometer skog producerar lika mycket skogsavfall per km² som Sveriges skog så blir det:

$130 \text{ TWh} * 47 \text{ Mkm}^2 / 220000 \text{ km}^2 = 28000 \text{ TWh per år}$

Om man fördelar det på jordens befolkning så blir det:

$28000 \text{ TWh} / 7000000000 \text{ människor} / 365 \text{ dygn} \sim 11 \text{ kWh per person och dygn.}$

Fotnot 2.1.N: Marktäckedata för riket som helhet omkr. år 2000. (

http://www.scb.se/Pages/PressRelease_106451.aspx)

27469,29km² Åkermark

7091,2km² Betesmark

221376,45km² Skog

12695,85km² Myr, skogsklädd

38956km² Myr, ej skogsklädd

34855,18km² Gräsmark, hedmark, busksnår, osv.

4486,19km² Berg i dagen och blockmark, ej skogsklädd

177,36km² Grus- och sandtag

147,48km² Flygplats och flygfält

229,95km² Golfbana

5210,4km² Tätortsmark

31034,1km² Inlandsvatten exkl. de fyra största sjöarna

8926km² Vätern, Vättern, Mälaren och Hjälmarén

450295km² Totalareal

Fotnot XXXII: "I dag utvinns vi omkring 130 TWh varje år från skogs-råvara i Sverige" enligt en artikel på baksidan av Energivärlden nr 3/2011

(

http://213.115.22.116/System/ViewResource.aspx?p=Energimyndigheten&rl=default:/Resources/Permanent/Static/720cf2d8367a41f6a3c8a9010db7649b/EV3_2011.pdf

) (

<http://213.115.22.116/System/TemplateView.aspx?p=Energimyndigheten&view=default&cat=/Tidning&id=720cf2d8367a41f6a3c8a9010db7649b>)

Jag vet inte exakt vad som ingår i den siffran. Den kanske går att öka om vi är mer noga med att samla upp allt skogsavfall, men å andra sidan kanske energiskog räknas in, och i så fall räknar vi det dubbelt eftersom vi räknar det som energigröda. Hjälpa mig gärna att hitta säkrare siffror.

Låt oss räkna med att potentialen för bioenergi från skogsavfall är 130 TWh.

^{xix} Fotnot 2.2.AI: Jag har helt enkelt antagit att folk i världen har ungefär lika mycket avfall per person som Sverige har (Fotnot KM.2E:), till att gör biogas av.

^{xx} Fotnot 2.1.X.42: Kanske är en del av skogsavfallet och biogasen inräknat i de 21 kWh/pp&d biobränsle. Å andra sidan så fångar man troligen in en mindre andel av koldioxiden från fordon än av

koldioxiden från stationära kraftverk. Å tredje sidan är koldioxiden som frigörs vid framställningen av biobränsle lättast att fånga in. Å fjärde sidan så representerar den koldioxiden lika mycket förlorad energi.

Kort sagt: Siffran 36 kWh/pp&d är väldigt osäker, men troligen i rätt storleksordning. Hjälp mig gärna att hitta en bättre siffra.

^{xxi} Fotnot 2.1.AR: Potentialen för biologiskt bränsle är ca $21+11+4,4 \approx 36$ kWh per person och dygn.

(Fotnot 2.1.L:) (Fotnot XXXVII:) (Fotnot 2.2.AI:)

Typical calorific values for Forest wood chip fresh is ca 2 kWh/kg (

<http://www.wightheat.co.uk/calorific.php>)

Vikten av den bundna koldioxiden motsvarar ungefär 55% av biomassan. (Fotnot 1.A:)

Mängden koldioxid är alltså ca:

$36 \text{ kWh/pp\&d} * 55\% / 2 \text{ kWh/kg} \approx 10 \text{ kg CO}_2$ per person och dygn

(Det finns flera sorters biologiskt bränsle, men jag gissar att vi trots det hamnar i rätt storleksordning. Hjälp mig gärna att hitta bättre siffror.)

Fotnot 1.A: Ca 70% av biomassan är vatten. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Biomass_\(ecology\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Biomass_(ecology))) Av de återstående 30% så är ungefär hälften kol. (Fotnot 1.B:) Alltså är ca 15% av biomassan kol. När kolet bildar koldioxid så ökar massan ca 3,7 gånger. (Fotnot 1.C:) Resultatet blir att koldioxiden väger lite mer än hälften av biomassan som band den.

$30\% \text{ torrsvikt} * 50\% \text{ kol} * 3,7 \text{ ggr} \approx 55\%$

Fotnot 1.B: "burning was measured in forest cleared for pasture in a cattle ranch ... Aboveground dry weight biomass loading averaged 265 t ha⁻¹ ... 311 t ha⁻¹ total dry weight biomass ... Using carbon contents measured for different biomass components (all ~50% carbon) ... 27.6% reduction of aboveground carbon pools" (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1993JGR...9816733F>)

^{xxii} Fotnot 2.1.U: Potentialen i världen för biomassa motsvarar ca 10 kg CO₂ per person och dygn

(Fotnot 2.1.AR:) Om man fångar in koldioxiden från förbränningen av biomassan, hur mycket skulle man då kunna minska koldioxidhalten i atmosfären?

En del av kolet i veden blir koldioxid när man gör flytande bränsle av den. "Capture is most easily achieved for ethanol production, where a pure CO₂ stream containing about a third of the carbon in the feedstock is naturally produced from the fermentation step." (<http://arxiv.org/abs/0804.1126>)

(Fotnot 2.1.BX:)

Om man istället väljer att göra elektricitet i ett kraftverk så kan ungefär 90% av koldioxiden fångas in.

"Available technology captures about 85–95% of the CO₂ processed in a capture plant." (

http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_summaryforpolicymakers.pdf)

Låt oss säga att man kan fånga in hälften av den totala mängden koldioxid. Det skulle innebära att man fångar in ungefär:

$0,5 * 10 \text{ kg} * 7000000000 \text{ människor} * 365 \text{ dygn} \approx 12,6$ miljarder ton CO₂ per år.

En ppm motsvarar 7,8 miljarder ton CO₂. (Fotnot 2.1.K:)

Man skulle alltså kunna fånga in motsvarande:

$12,6 \text{ Gton/år} / 7,8 \text{ Gton/ppm} \approx 1,6 \text{ ppm/år}$

(Koldioxidutbytet med haven försummas här. Jag är bara ute efter en grov uppskattning.)

^{xxiii} Fotnot 2.1.AS: "A power plant equipped with a CCS system (with access to geological or ocean storage) would need roughly 10–40% more energy than a plant of equivalent output without CCS, of which most is for capture and compression." (http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_summaryforpolicymakers.pdf)

^{xxiv} Fotnot 2.1.X.43: Energiutbytet i form av biobränsle från energigröda och skogsavfall var 36 kWh per person och dygn. (Fotnot 2.1.AR:) När man inför CCS minskar energiutbytet med femtedel. (Fotnot 2.1.AS:) Om vi inför CCS på hälften av energiproduktionen så blir alltså energikostnaden: $36\text{kWh/pp\&d} / 2 / 5 \approx 3,6\text{ kWh per person och dygn}$. (Energiutbytet från biobränsle, energigröda och skogsavfall minskar alltså med 3,6 kWh per person och dygn då man inför CCS)

^{xxv} Fotnot KM.2P: Kurs-mail "Klimat 2P: Fossilt kol med Koldioxidinfångning = CCS = Carbon Capture & Storage" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2P_CCS.pdf)

^{xxvi} Fotnot 2.1.Q: Koldioxid skulle kunna tas bort direkt ur luften. Den här artikeln räknar på hur mycket det skulle kosta med befintliga industriella metoder. (<http://arxiv.org/abs/0804.1126>) (Fotnot 2.1.BX:) Av TABLE B.3 framgår energiåtgången per ton kol för de olika process-stegen: Calcination 40GJ/tC, Aminecapture 0.4+14GJ/tC, CO2 compression 1.6GJ/tC, Contacting Spray tower 1.0GJ/tC. Den totala energikostnaden per ton CO2 skulle alltså bli: $40+0,4+14+1,6+1 \approx 57\text{GJ/tC}$
En kWh motsvarar 3,6 miljoner Joule (<http://en.wikipedia.org/wiki/Kwh>) och ett ton kol motsvarar 3,7 ton CO2 (Fotnot 1.C:) så 57 GJ/tC motsvarar: $57\text{GJ/tC} / 3,6\text{MJ/kWh} / 3,7\text{tCO}_2/\text{tC} \approx 4,3\text{kWh per kg CO}_2$
En ppm CO2 i atmosfären motsvarar 7,8 miljarder ton CO2. (Fotnot 2.1.K:) Att ta bort 0,49 ppm om året med befintlig teknik skulle alltså kosta: $0,49\text{ppm} * 7,8\text{GtonCO}_2/\text{ppm} * 4,3\text{kWh/kgCO}_2 / 7000000000\text{människor} / 365\text{dygn} \approx 6,4\text{ kWh per person och dygn}$.
(Koldioxidutbytet med haven försummas här. Jag är bara ute efter en grov uppskattning.)

^{xxvii} Fotnot 2.1.X.44: Artificiella träd skulle kanske kunna samla in koldioxiden från luften till en kostnad av \$80-\$100 per ton (+komprimering+lagringskostnad). (<http://breakthroughgen.wordpress.com/2008/07/22/synthetic-air-capture-technology-how-artificial-trees-can-do-more-than-decorate-your-living-room/>)

^{xxviii} Fotnot 2.1.BB: Vi räknade med att ta bort motsvarande 80 ppm m.h.a. CCS och biobränsle, och 24 ppm m.h.a. industriell koldioxidinfångning. Alltså totalt 104 ppm koldioxid som ska lagras i världen. Vikten av en ppm CO2 är 7,8 miljarder ton (Fotnot 2.1.K:) För att ta oss tillbaka till 350 ppm så behöver vi i hela världen lagra: $7,8\text{GtonCO}_2 * 104\text{ppm} \approx 818\text{ miljarder ton koldioxid}$
Låt oss anta att Sverige ska ta om hand 0,5% av det. (Vi återkommer i sektion 3 till vad som är Sveriges rimliga andel. (Fotnot KM.3J:)) Då ska Sverige lagra: $0,5\% * 818\text{GtonCO}_2 \approx 4\text{ miljarder ton koldioxid}$
Vid 50 atmosfärers tryck är koldioxidens densitet ca 10 miljoner ton/km³ (Fotnot 2.1.BA:) Det betyder att vi behöver lagra: $4\text{GtonCO}_2 / 10\text{Mton/km}^3 \approx 41\text{ km}^3\text{ CO}_2\text{ vid } 50\text{ atmosfärers tryck}$

Om koldioxiden istället lagras under 150 atmosfärens tryck så blir den superkritisk och uppför sig nästan som en vätska. Då är densiteten 650 miljoner ton per km³ (Fotnot 2.1.BA:), så volymen blir: 4GtonCO₂ / 650Mton/km² ≈ 6,2 km³ superkritisk koldioxid.

Fotnot KM.3J: Kurs-mail "Klimat 3J: RCI" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat3J_RCI.pdf)

Fotnot 2.1.BA: Vid normalt tryck på en atmosfär väger koldioxid 1,977 g per liter. (http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide)

Låt oss säga att vi lagrar koldioxiden under 50 atmosfärens tryck. Då blir densiteten: 1,977g/l * 50atm ≈ 10 miljoner ton/km³

-

Om koldioxiden istället lagras under 150 atmosfärens tryck så blir den superkritisk och uppför sig nästan som en vätska.

"At depths below 800–1,000 m, CO₂ becomes supercritical and has a liquid-like density (about 500–800 kg m⁻³) that provides the potential for efficient utilization of underground storage space and improves storage security" (http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_summaryforpolicymakers.pdf) (Fotnot LXXIV:)

Låt oss räkna med den genomsnittliga densiteten på 650 kg/m³

Fotnot LXXIV: IPCC Special Report "Carbon Dioxide Capture and Storage" Summary for Policymakers (http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_summaryforpolicymakers.pdf) (http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml "Carbon Dioxide Capture and Storage")

^{xxix} Fotnot KM.2P: Kurs-mail "Klimat 2P: Fossilt kol med Koldioxidinfångning = CCS = Carbon Capture & Storage" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2P_CCS.pdf)

^{xxx} Fotnot 2.1.X.45: Det går att använda t.ex. solenergi för att göra bränsle av koldioxid. (http://www.nyteknik.se/nyheter/innovation/forskning_utveckling/article55013.ece) Ska man använda den tekniken för att ta bort koldioxid från luften går det dock bara att ta bort så mycket som ryms i världens oljetankers, bensintankar och övrig förvaring.

^{xxxi} Fotnot 2.1.X.46: 492 ppm i atmosfären. 142 ppm kan vi ta bort på 50 år. Kvar blir då: 492 - 142 ≈ 350 ppm

^{xxxii} Fotnot 2.1.X.47: Koldioxidutsläppen behöver minska med 11% om året fr.o.m. år 2015 för att de samlade utsläppen inte ska motsvara mer än 492 ppm.

Vi kan sammanlagt släppa ut högst 420 Giga-ton CO₂ totalt efter år 2010 (Fotnot 2.1.X.48:)

32 miljarder ton nuvarande årliga utsläpp (Fotnot 3.A:)

Exempel på utsläppskurvor finns i (<http://gdrights.org/2009/10/25/a-350-ppm-emergency-pathway-2/> Figure 2) Vi kommer att återkomma till dem i ett senare mail. (Fotnot KM.3C:)

Min beräkning är gjord som en serie i Excel. Maila mig om du vill ha en kopia på kalkylarket.

Fotnot 2.1.X.48: Vi kan ta bort motsvarande 142 ppm på 50 år. (Därefter börjar den första typen av koldioxidsänkor att vara fyllda.) En ppm motsvarar 7,8 Giga-ton koldioxid. (Fotnot 2.1.K) Vi kan alltså ta bort högst:

$142\text{ppm} * 7,8\text{Gton/ppm} \approx 1111$ Giga-ton koldioxid

Koldioxidhalten var 350 ppm 1988 (Fotnot 2.1.J:)

Mellan år 1989 och år 1999 har vi släppt ut 70000 Mega-ton fossilt kol. (Fotnot 3.A:)

Mellan år 2000 och år 2009 har vi släppt ut 330 Giga-ton CO₂. (Fotnot 2.3.B:) Det motsvarar 257 Giga-ton CO₂.

Från och med år 2010 kan vi alltså släppa ut högst:

$1111 - 257 - 330 \approx 529$ Giga-ton CO₂

GDR (Fotnot 0.2:) räknar med att vi kan släppa ut högst 750 giga-ton koldioxid efter år 2000 om vi ska kunna ta oss tillbaka till 350 ppm. (<http://gdrights.org/2009/10/25/a-350-ppm-emergency-pathway-2/>) Enligt dem kan vi alltså släppa ut högst:

$750 - 330 \approx 420$ Giga-ton CO₂ efter år 2010

Låt oss räkna med deras värde.

Fotnot 3.A: De totala utsläppen av fossilt kol år 2008 var 8749 miljoner ton. (

http://cdiac.ornl.gov/ftp/ndp030/global.1751_2008.ems) (

http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/meth_reg.html)

8,749 Giga-ton kol motsvarar 32 Giga-ton koldioxid per år

(Dessutom släpper vi ut andra växthusgaser än koldioxid. (Fotnot 2.1.BE:))

Fotnot KM.3C: Kurs-mail "Klimat 3C: Återstående utrymme i atmosfären" (

http://klimatcht.yolasite.com/resources/Klimat3C_AterstaendeUtrymmelAtmosfaren.pdf)

Fotnot 2.1.BE: Gör så här för att se att världens samlade utsläpp av koldioxid-ekvivalenter (Fotnot 2.1.BS:) var 47620000 tusen ton år 2007:

Gå till (<http://climateinteractive.org/scoreboard/press/copenhagen-cop15-analysis-and-press-releases/COP-15%20Summary%20Backup%20Data.xls/view>)

Öppna "COP-15 Summary Backup Data 121909.xls"

Öppna flik "BAU"

Leta reda på kolumn "Global CO₂ Equivalent Emissions (GtonsCO₂/year)" (Kolumn C)

Bläddra ner till år 2007 (Rad 118)

Läs 47,62 i kolumn "Global CO₂ Equivalent Emissions (GtonsCO₂/year)" (Kolumn C)

Av dessa ca 48 Giga-ton koldioxidekvivalenter var ca 32 Giga-ton koldioxid. (Fotnot 3.A:) Resterande ca 16 Giga-ton koldioxidekvivalenter var bidrag från andra växthusgaser. (Fotnot 2.1.BS:)

Fotnot 2.1.BS: Om Koldioxidekvivalenter: Det finns fler växthusgaser än koldioxid och metan. Man kan beskriva den värmande effekten som var och en av de här gaserna har, men man vill också gärna kunna beskriva den totala sammanlagda effekten. Det gör man genom att räkna ut hur mycket koldioxid som skulle ha samma effekt som de andra gaserna och sedan addera de uträkningarna till den faktiska koldioxidhalten. Summan kallas koldioxidekvivalenter.

Koldioxidekvivalenterna anges för att ge ett snabbt och enkelt mått på den totala växthuseffekten som jorden utsätts för.

Olika växthusgaser är inte direkt jämförbara, eftersom de bryts ner olika snabbt. När man räknar ut koldioxidekvivalenten för en viss mängd växthusgas så anger man "den mängd koldioxid som skulle behöva släppas ut för att ha samma effekt under hundra års tid". Om en växthusgas skulle brytas ner på exakt ett år så skulle den alltså behöva ha 100 gånger så stor effekt molekyl för molekyl, för att anses lika kraftfull räknat i ppm koldioxidekvivalenter, jämfört med en gas som bryts ner på 100 år eller mer.

^{xxxiii} Fotnot 2.1.J: Före industrialiseringen var koldioxidhalten ca 280 ppm. (http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/spmssp-human-and.html)
1988 var koldioxidhalten ca 350 ppm.
Nu är halten nästan 400 ppm och den stiger med mer än 2 ppm per år.
(<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>)

^{xxxiv} Fotnot KM.1G: Kurs-mail "Klimat 1G: Tipping-points" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat1G_Tippingpoints.pdf)

^{xxxv} Fotnot 2.1.AT: 0,5 ppm per år kräver "bara" energi för att samla in. De andra 2,4 är beroende av skogarnas tillväxt och jordarnas beskaffenhet. Återskogning är beroende av att alla skogar växer i genomsnitt ungefär lika bra som de har gjort och CCS är till stor del beroende av biprodukter från skogsbruket. Dessutom har vi räknat med att använda skogarnas och terra pretas hela potential till att ta bort koldioxid som vi redan har släppt ut. Då räcker den inte till att samtidigt kompensera för tipping-points.

^{xxxvi} Fotnot 2.1.AU: Vilken som helst av dessa tipping-points kan omintetgöra våra möjligheter att stoppa klimatförändringarna genom att minska koldioxidhalten i atmosfären:

- Tundran smälter och frigör 0,9% av det frusna kolet per år. *
- Skogar brinner upp, eller dör och förmultnar, på en yta motsvarande 14% av Brasiliens yta per år **
- Haven värms upp så att 0,9 promille av metanhydraten (och metan-bubblor) frigörs per år i form av koldioxid ***
- Haven värms upp så att 0,04 promille av metanhydraten (och metan-bubblor) frigörs per år i form av metan ***
- Vi lagrar 53 års koldioxid-utsläpp i lager som varje år läcker 1% av den lagrade koldioxiden. (Fotnot 2.1.Y:)
(Givetvis kan dessa koldioxid-källor kompenseras av motsvarande stora sänkor, men det ger ändå en uppfattning om hur nära tipping-points vi är.)

-
Vi kan ta bort upp till 2 ppm om året till en kostnad av 10 kWh/pp&d

En ppm motsvarar 7,8 miljarder ton CO₂. (Fotnot 2.1.K:) 2 ppm motsvarar alltså $2 * 7,8 \approx 16$ miljarder ton CO₂

Ett kilo kol motsvarar 3,7 kg CO₂. (Fotnot 1.C:) 16 miljarder ton CO₂ motsvarar alltså $16 / 3,7 \approx 4,4$ miljarder ton kol

* Tundran

I tundran finns 500 miljarder ton kol. (Fotnot 1.D:) 4,4 miljarder ton kol motsvarar alltså ungefär 0,9% av det kol som finns bundet i tundran.

** Skogarna

37 ton kol frigörs per hektar när regnskog brinner. (Fotnot 1.E:) 4,4 miljarder ton kol motsvarar alltså: $4,4\text{GtC} / 37\text{tC/ha} \approx 1,2$ miljoner km² skogsbrand

Brasiliens yta är ca 8,5 miljoner km². (<http://en.wikipedia.org/wiki/Brazil>) 2 ppm motsvarar alltså en skogsbrand på 1000000km² / 8500000km² ≈ 14% av Brasiliens yta.

(Bonus: Se även (Fotnot 2.3.C:))

*** Metanhydrat i haven

I haven finns ungefär 5000 Giga-ton kol i form av metanhydrat m.m.. (

<http://geosci.uchicago.edu/~archer/reprints/buffett.2004.clathrates.pdf>): 4,4 miljarder ton kol

motsvarar alltså: 4,4GtC / 5000GtC ≈ 0,9 promille av metanhydraten

Metan en 25 gånger kraftfullare växthusgas än koldioxid. (Fotnot 2.1.AA:) 4,4 miljarder ton kol

motsvarar alltså:

0,9‰ / 25ggr ≈ 0,036 promille av metanhydraten

(Idag läcker redan mer än 6 miljoner ton per år (Fotnot 2.1.BP:))

(Se även (Fotnot KM.1G:) och (Fotnot 3.J:))

Fotnot 2.1.Y: Låt oss säga att vi som en övergångslösning väljer att lagra koldioxid motsvarande den mängd koldioxid vi producerar idag. Låt oss säga att 1% av den lagade koldioxiden kommer tillbaka ut i atmosfären genom läckor varje år. Då skulle vi kunna lagra 51 års utsläpp innan läckorna blir större än vad vi kan ta bort:

Vi människor släpper idag ut ungefär 32 miljarder ton koldioxid per år. (Fotnot 3.A:)

Efter 51 år skulle det alltså varje år läcka ut ca:

1% * 51år * 32GtCO₂/år ≈ 16 miljarder ton CO₂

16 miljarder ton CO₂ per år kan vi ta bort ur atmosfären till en kostnad av 10 kWh/pp&d.

Fotnot 1.D: "Permafrost areas hold 500 billion tonnes of carbon, which can fast turn into greenhouse gases" (<http://www.reuters.com/article/2007/09/18/environment-arctic-russia-permafrost-env-idUSL1076886120070918>)

Människan släpper ut 8,7 miljarder ton kol per år i form av koldioxid. (Fotnot 3.A:)

(I artikeln står det att människan släpper ut ca 7 miljarder ton kol per år, men mängden vi släpper ut ökar för varje år. (Fotnot 4.X.17:))

500 miljarder ton kol i tundran delat med 8,7 miljarder ton kol som människan släpper ut per år, betyder att kolet i tundran motsvarar:

500Gton / 8,7Gton/år ≈ 57 års utsläpp

Fotnot 1.E: 265 ton torr biomassa (ovan jord) per hektar består till 50% av kol som till 28% frigörs som koldioxid då regnskogen brinner (Fotnot 1.B:)

Det betyder att 37 ton kol (eller 134 ton koldioxid) frigörs per hektar:

265t/ha * 50%kol * 28%frigörs ≈ 37 ton kol per ha frigörs

D.v.s. att 239 miljoner hektar behöver brinna för att komma upp i motsvarande människans utsläpp på 8,7 miljarder ton kol (Fotnot 3.A:)

(Skulle det som blir kvar efter branden också brytas ner och förmultna så skulle det bara behövas motsvarande 57 miljoner ha eftersom även resten av biomassan ovan och under marken skulle dö och bli till koldioxid.)

Fotnot 2.1.AA: Metans livstid och effekt som växthusgas: (<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf> Table 2.14, sid 212)

Räknar man effekten under de 100 åren närmast efter utsläppet, så har metan en 25 gånger så stor effekt som koldioxid. Räknar man på kortare tid så är metanet ännu mycket kraftfullare eftersom

metanet har sin största effekt åren efter att det släpptes ut, medan koldioxiden finns kvar i atmosfären i hundra(tals) år och i kolcykeln (<http://sv.wikipedia.org/wiki/Kolcykeln>) i tiotusentals år.

Räknar man effekten under de 20 åren närmast efter utsläppet, så har metan en 72 gånger så stor effekt som koldioxid.

Se även (Fotnot KM.2J:)

Fotnot 2.1.BP: "The frozen cap trapping billions of tonnes of methane under the cold waters of the Arctic Ocean is leaking and venting the powerful greenhouse gas into the atmosphere, new research shows. ... Researchers estimate that eight million tonnes in annual methane emissions are being released from the shallow East Siberian Arctic Shelf" (<http://ipsnews.net/news.asp?idnews=50565> Hjälp mig gärna att hitta en bättre källa för hur mycket metan som läcker och som når atmosfären.)
8 miljoner ton metan motsvarar 6 miljoner ton kol

Ny forskning visar att utsläppen dessutom ökar år för år: (

<http://www.independent.co.uk/environment/climate-change/shock-as-retreat-of-arctic-sea-ice-releases-deadly-greenhouse-gas-6276134.html>)

Fotnot 3.J: Knappt tre minuter in i den här filmen visas ett isberg som välter:

(http://www.ted.com/talks/camille_seaman_haunting_photos_of_ice.html)

Det har i sig ingenting med klimatförändringarna att göra. Ändå är det här för mig på något sätt sinnebilderna av en tipping-point. Isen smälter och smälter och det syns ingen större skillnad. När tillräckligt mycket is har smält så att isberget har ändrat form, då når det sin tipping-point. Isberget tipsar över och ingenting i världen kan hindra det från att rulla hela vägen runt.

Fotnot KM.2J: Kurs-mail "Klimat 2J: Kol, Koldioxid och Metan" (

http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2J_KolKoldioxidMetan.pdf)

^{xxxvii} Fotnot 2.1.X.52: Konstanta metanutsläpp innebär en konstant nivå av metan i atmosfären eftersom metan bryts ner till koldioxid på ca 10 år. (Fotnot KM.2J:) Genom att minska människans metanutsläpp till 0 kan vi minska metanhalten till den naturliga nivån, vilket ger en viss temperatursänkning men inte mer.

Om vi dessutom stoppar alla naturliga metanutsläpp kan vi minska metanets bidrag till växthuseffekten till 0. Det skulle minska temperaturen med metanets nuvarande bidrag men inte mer.

Efter den här engångsminskningen när vi slutar släppa ut metan så skulle temperaturen fortsätta öka eftersom koldioxidhalten i atmosfären fortsätter öka.

^{xxxviii} Fotnot KM.2C:

^{xxxix} Fotnot KM.2C: Kurs-mail "Klimat 2C: Apparater, IT, Media, Ljus och Vattenkraft" (

http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2C_ApparaterITMediaLjusVattenkraft.pdf)

^{xl} Fotnot KM.2D:

^{xli} Fotnot KM.2D:

^{xlii} Fotnot KM.2D: Kurs-mail "Klimat 2D: Persontransporter, Energigröda, Skogsavfall och Torv" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2D_PersontransporterEnergigrodaSkogsavfallTorv.pdf)

^{xliii} Fotnot KM.2E:

^{xliv} Fotnot KM.2E:

^{xliv} Fotnot KM.2E: Kurs-mail "Klimat 2E: Mat, Vatten, Jordbruk, Biogas och Söföbränning" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2E_MatJordbrukBiogasSopforbranning.pdf)

^{xlvi} Fotnot KM.2F: Kurs-mail: "Klimat 2F: Värme, Kyla, Värmepumpar" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2F_VarmeKylaVarmepumpar.pdf)

^{xlvii} Fotnot KM.2G:

^{xlviii} Fotnot KM.2G: Kurs-mail: "Klimat 2G: Grejer, Frakt och Vindkraft" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2G_GrejerFraktVindkraft.pdf)

^{xliv} Fotnot KM.2H: Kurs-mail: "Klimat 2H: Offentlig sektor och Solenergi" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2H_OffentligsektorSolenergi.pdf)

ⁱ Fotnot KM.2C: Kurs-mail "Klimat 2C: Apparater, IT, Media, Ljus och Vattenkraft" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2C_ApparaterITMediaLjusVattenkraft.pdf)

ⁱⁱ Fotnot KM.2D:

ⁱⁱⁱ Fotnot KM.2D:

^{liii} Fotnot KM.2D: Kurs-mail "Klimat 2D: Persontransporter, Energigröda, Skogsavfall och Torv" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2D_PersontransporterEnergigrodaSkogsavfallTorv.pdf)

^{liv} Fotnot KM.2E:

^{lv} Fotnot KM.2E: Kurs-mail "Klimat 2E: Mat, Vatten, Jordbruk, Biogas och Söfbränning" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2E_MatJordbrukBiogasSopforbranning.pdf)

^{lvi} Fotnot KM.2F: Kurs-mail: "Klimat 2F: Värme, Kyla, Värmepumpar" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2F_VarmeKylaVarmepumpar.pdf)

^{lvii} Fotnot KM.2G:

^{lviii} Fotnot KM.2G: Kurs-mail: "Klimat 2G: Grejer, Frakt och Vindkraft" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2G_GrejerFraktVindkraft.pdf)

^{lix} Fotnot KM.2H: Kurs-mail: "Klimat 2H: Offentlig sektor och Solenergi" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2H_OffentligsektorSolenergi.pdf)

^{lx} Fotnot KM.2I:

^{lxi} Fotnot KM.2I:

^{lxii} Fotnot KM.2I: Kurs-mail: "Klimat 2I: Vätgas, Metanol och Trädplantering" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2I_VatgasMetanolTradplantering.pdf)

^{lxiii} Fotnot 2.1.X.39: "There are no large-scale technologies for CO₂ air capture now, but with strong research and development support and industrial-scale pilot projects sustained over decades it may be possible to achieve costs ~\$200/tC or perhaps less." (<http://arxiv.org/abs/0804.1126>) (Fotnot 2.1.BX:)

Med en dollarkurs på 7kr/\$ så blir kostnaden per kg CO₂ i så fall: $200\$ * 7kr/\$ / 1000kg/ton \approx 1,4kr/kg$

^{lxiv} Fotnot 0.13: Det som inte tål att skrattas åt är väl inte heller värt att ta på allvar