

Klimat 20: Kärnkraft

(På 3ⁱ minuter hinner du läsa det som står med fetstil och staplarna samt sista paragrafen. Den som börjar med "Alternativ för att fylla energi-gapet ...". **Gör det nu.** ⁱⁱ⁾)

Den här sektionen av klimat-utbildningen bygger på boken "Sustainable Energy - without the hot air". ⁱⁱⁱ All information kommer därifrån om inget annat anges.

Kärnkraft

Låt oss för ett ögonblick lämna säkerhetsfrågorna därefter och titta på tillgång och efterfrågan.

Det finns ungefär 27 miljoner ton uran i kända brytbara malmförekomster. ^{iv} Om vi ska ersätta oljan med kärnkraft så vill vi naturligtvis att kärnkraften ska räcka länge. Låt oss säga i minst 200 år.

- Ett vanligt kärnkraftverk som producerar 1 gigawatt använder 162 ton uran per år. Det innebär att om de kända brytbara resurserna av uran delas mellan 6,8 miljarder människor i 200 år, så skulle vi, med en EROEI på 15, få 2,7 kWh kärnkraft per person och dygn. ^v

- Brid-reaktorer används inte idag ^{vi} och skulle därför kunna ses som en teknik på experimentstadiet. ^{vii} Om brid-reaktorer skulle användas så skulle uranet räcka till 60 gånger så mycket energi ^{viii}, d.v.s. till 160 kWh per person och dygn i 200 år. ^{ix}

- Det finns experiment-reaktorer som använder torium istället för uran som kärnbränsle. Om allt torium brändes i sådana reaktorer så skulle vi kunna få ut 19 kWh per person och dygn i 200 år. ^x

I den här klimat-utbildningen koncentrerar vi oss på teknologier som finns och kan tillämpas idag. (Tekniker på experimentstadiet tittar vi på i ett senare mail. ^{xi}) Därför räknar vi i nuläget inte med någon energi från kärnkraft generation IV ^{xii}, andra klyvbara grundämnen, kall fusion, uran från havet eller liknande.

Vanlig kärnkraft: 2,7 kWh per person och dygn i 200 år

Kärnkraft från brid-reaktorer: 160 kWh per person och dygn i 200 år

Kärnkraft med torium som bränsle: 19 kWh per person och dygn i 200 år

Vanlig kärnkraft kan inte fylla gapet mellan tillgång och efterfrågan.

Kärnkraft från brid-reaktorer och upparbetat bränsle kan fylla gapet mellan tillgång och efterfrågan, om tekniken fungerar fullt ut och om vi accepterar riskerna.

Kärnkraft med torium kan bara delvis fylla gapet mellan tillgång och efterfrågan.

Energiförbrukning (kWh/person och dygn):

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

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

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

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

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

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

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

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

Värme och kyla: 33 kWh/pp&d ^{xxi}

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

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

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

CO2 minskning: 10 kWh/pp&d ^{xxv}

 150 kWh/pp&d ^{xxvi}

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

Vattenkraft: 29 kWh/pp&d ^{xxvii}

Energi-grödor: 12 kWh/pp&d ^{xxviii}

Skogsavfall: 36 kWh/pp&d ^{xxix}

Torv: 7 kWh/pp&d ^{xxx}

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

Sopförbränning: 1 kWh/pp&d ^{xxxii}

Värmepumpar: 18 kWh/pp&d ^{xxxiii}

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

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

Sol på tak: 3 kWh/pp&d ^{xxxvi}

Vätgas: 0 kWh/pp&d ^{xxxvii}

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

Trädplantering: 0 kWh/pp&d ^{xxxix}

 129 kWh/pp&d

Energi-gap: ca 21 kWh per person och dygn

Alternativ för att fylla energi-gapet på 21 kWh per person och dygn:

104 m² solkraftverk per person i Sverige (2 promille av Sveriges yta): **21 kWh/pp&d**^{xi}

Maximal potential för effektivisering av fullt utbyggd förnybar energiproduktion: **22 kWh/pp&d**^{xli}

Energi-import från hela Sahara: **420 kWh/pp&d**^{xlii}

"Vanlig" kärnkraft: **2,7 kWh/pp&d** i 200 år

Kärnkraft från torium-reaktorer: **19?** kWh/pp&d i 200 år

Kärnkraft från brid-reaktorer: **160?** kWh/pp&d i 200 år

Bonus 1: (

- Tankar om säkerheten -

När det gäller kärnkraft är lagringen av avfallet ett stort problem. När det gäller fossila bränslen försöker vi inte ens lagra avfallet. Vi släpper koldioxiden rakt ut i atmosfären.^{xliii}

När det gäller kärnkraft är risken för kärnkraftsolyckor ett stort problem.

Varning Åsikt^{xliiv}: Problemen från 4 eller 5 graders global uppvärmning är större:

Låt oss säga att det skulle bli härdsmläta i *vartenda ett* av alla världens 435^{xliv} kärnkraftverk samtidigt så att vi behövde utrymma 20 mil runt varje kärnkraftverk.

Då skulle ändå mindre än 10% av jordens land-yta drabbas, och troligen skulle inte en enda art utrotas.^{xlvi}

Jämför det med en global uppvärmning på 4 eller 5 grader:

http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat1D_4grader.pdf^{xlvii}

http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat1E_5grader.pdf^{xlviii}

)

Bonus 2: En intressant och insiktsfull debatt:

http://www.ted.com/talks/debate_does_the_world_need_nuclear_energy.html

Bonus: Litet men positivt: Trots att tsunamin som slog ut kärnkraftverket i Fukushima dödade över 15000 människor^{xlix} så dödades ingen av strålning, och mindre än 200 väntas drabbas av cancer som följd av olyckan.^l (Som jämförelse dör ungefär 200 människor *varje* år av influensa bara i Sverige.^{li})

Humor-bonus^{lii}: <http://www.inference.phy.cam.ac.uk/withouthotair/c19/figure431.png>

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, samt den sista paragrafen. (Den som börjar med "Alternativ för att")

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. ^{liii}

Detta mail kan även laddas ner som PDF från:

http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2O_Karnkraft.pdf

Bonus: Nästa mail kan laddas ner som PDF från:

http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat3D_VadKostarDet.pdf

Om du vill gå kursen så kontakta mig på <http://klimatcbt.yolasite.com/kontakt.php>

(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. (Fotnot 0.20:)

På tre minuter per mail får man en översiktlig helhetsbild. För den som önskar en djupare förståelse finns möjligheten att läsa resten av mailet. De flesta mail innehåller följande typer av information:

- 3-minuters: På 3 minuter hinner man läsa de viktigaste rubrikerna och slutsatserna så att man kan följa kursen.

- Brödtext: Den löpande texten ger en fördjupad beskrivning av ämnet i mailet.

- Bonus: Intressant information som berör ämnet men inte egentligen hör till kursen.

- Footer: Nedanför brödtexten finns lite information om kursen. Den är i princip likadan i alla mail.

- Fotnoter: I fotnoterna finns alla beräkningar och källor. Läs i fotnoterna (bara) om du vill veta hur jag har räknat, tänkt och resonerat.

Mer information om kursen finns på <http://klimatcbt.yolasite.com/>

ⁱⁱ Fotnot 0.20: Detta är det rekommenderade upplägget: Ägna 3 minuter åt att göra den obligatoriska delen direkt när du får e-mailet. Avsluta den obligatoriska delen då även om du inte är säker på att du gör den på det bästa sättet. Om du har tid och lust (det kan vara omedelbart, senare, eller en annan dag) så kan du göra bonusdelen, eller göra om den obligatoriska delen på ett bättre sätt.

ⁱⁱⁱ 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/ted/>)

^{iv} Fotnot 2.2.I: "I'll add both the conventional uranium ore and the phosphates, to give a total resource of 27 million tons of uranium" (

http://www.inference.phy.cam.ac.uk/withouthotair/c24/page_162.shtml) (Fotnot 0.3)

Detta inkluderar malmförekomster som just nu inte är lönsamma att bryta. (Därutöver finns det ytterligare 4,5 miljarder ton löst i havs-vattnet och eventuell malm som ännu inte har upptäckts.)

^v Fotnot 2.2.H: "A once-through one-gigawatt nuclear power station uses 162 tons per year of

uranium." (http://www.inference.phy.cam.ac.uk/withouthotair/c24/page_162.shtml) (Fotnot 0.3:)

Ett vanligt kärnkraftverk producerar alltså:

1GW * 1år / 162ton = 54000000 kWh per ton uran

Låt oss anta att vi fördelar världens 27 miljoner ton uran (Fotnot 2.2.I:) mellan jordens 7 miljarder människor så att uranet räcker i 200 år. Då skulle vi få:

$27000000\text{ton} * 54000000\text{kWh/ton} / 200\text{år} / 7000000000\text{människor} = 2,9\text{kWh}$ per person och dygn brutto

Använder man istället bred-reaktorer med uppberedningsanläggningar, så får man ut 60 gånger så mycket energi per ton uran. (Fotnot 2.2.AE:) Då skulle man få:

$60 * 2,9\text{kWh/pp\&d} = 171\text{ kWh}$ per person och dygn brutto

ERoEI är upp till 15 gånger för kärnkraft: (<http://www.esf.edu/efb/hall/2009-05Hall0327.pdf> Figure 10)

För varje kWh man använder för att generera kärnkraft, så kan man alltså få upp till 15 kWh tillbaka. Från den energi som kärnkraften producerar, måste man alltså dra bort den energi som krävs för att utvinna kärnkraften.

Netto energin för vanlig kärnkraft blir alltså: $2,9\text{kWh/pp\&d} - 2,9\text{kWh/pp\&d} / 15 = 2,7\text{ kWh/pp\&d}$

Netto energin för bred-reaktorer blir alltså: $171\text{kWh/pp\&d} - 171\text{kWh/pp\&d} / 15 = 160\text{ kWh/pp\&d}$

(I sustainable Energy –without the hot air (Fotnot 0.3:) räknar han med 1000 år och inte 200.)

^{vi} Fotnot 2.2.X.84: "Several prototype FBRs have been built, ranging in electrical output from a few light bulbs' equivalent (EBR-I, 1951) to over 1000 MWe. As of 2006, the technology is not economically competitive to thermal reactor technology" (http://en.wikipedia.org/wiki/Breeder_reactor#The_fast_breeder_reactor)

^{vii} Fotnot KM.2R: Kurs-mail "Klimat 2R: Tekniker på experimentstadiet" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2R_TeknikerPaExperimentstadiet.pdf)

^{viii} Fotnot 2.2.AE: "We'll consider two ways to use uranium in a reactor: (a) the widely-used once-through method gets energy mainly from the 235U (which makes up just 0.7% of uranium), and discards the remaining 238U; (b) fast breeder reactors, which are more expensive to build, convert the 238U to fissionable plutonium-239 and obtain roughly 60 times as much energy from the uranium." (http://www.inference.phy.cam.ac.uk/withouthotair/c24/page_162.shtml) (Fotnot 0.3:)

^{ix} Fotnot 2.2.H: "A once-through one-gigawatt nuclear power station uses 162 tons per year of uranium." (http://www.inference.phy.cam.ac.uk/withouthotair/c24/page_162.shtml) (Fotnot 0.3:)

Ett vanligt kärnkraftverk producerar alltså:

1GW * 1år / 162ton = 54000000 kWh per ton uran

Låt oss anta att vi fördelar världens 27 miljoner ton uran (Fotnot 2.2.I:) mellan jordens 7 miljarder människor så att uranet räcker i 200 år. Då skulle vi få:

$27000000\text{ton} * 54000000\text{kWh/ton} / 200\text{år} / 7000000000\text{människor} = 2,9\text{kWh}$ per person och dygn brutto

Använder man istället bred-reaktorer med uppberedningsanläggningar, så får man ut 60 gånger så mycket energi per ton uran. (Fotnot 2.2.AE:) Då skulle man få:

$60 * 2,9\text{kWh/pp\&d} = 171\text{ kWh}$ per person och dygn brutto

ERoEI är upp till 15 gånger för kärnkraft: (<http://www.esf.edu/efb/hall/2009-05Hall0327.pdf> Figure 10)

För varje kWh man använder för att generera kärnkraft, så kan man alltså få upp till 15 kWh tillbaka. Från den energi som kärnkraften producerar, måste man alltså dra bort den energi som krävs för att utvinna kärnkraften.

Netto energin för vanlig kärnkraft blir alltså: $2,9\text{kWh/pp\&d} - 2,9\text{kWh/pp\&d} / 15 = 2,7\text{ kWh/pp\&d}$
Netto energin för bryde-reaktorer blir alltså: $171\text{kWh/pp\&d} - 171\text{kWh/pp\&d} / 15 = 160\text{ kWh/pp\&d}$
(I sustainable Energy –without the hot air (Fotnot 0.3:) räknar han med 1000 år och inte 200.)

^x Fotnot 2.2.X.12: Thorium: "If we assume ... that these resources are used up over 1000 years and shared equally among 6 billion people, we find that the "sustainable" power thus generated is 4 kWh/d per person." (http://www.inference.phy.cam.ac.uk/withouthotair/c24/page_166.shtml)
(Fotnot 0.3:)

Det finns alltså tillräckligt med torium för att generera 4kWh per person och dygn i 1000 år. Det betyder att vi kan få ut 20 kWh per person och dygn i 200 år.

Efter korrigering för en ERoEI på 15, blir det $20\text{kWh/pp\&d} - 20\text{kWh/pp\&d} / 15 = 18,7\text{ kWh per person och dygn}$.

Bonus: Se även:

- Ett föredrag om toriumreaktorer: (

http://www.ted.com/talks/kirk_sorensen_thorium_an_alternative_nuclear_fuel.html)

- Thorium-based nuclear power (http://en.wikipedia.org/wiki/Thorium-based_nuclear_power)

^{xi} Fotnot KM.2R: Kurs-mail "Klimat 2R: Tekniker på experimentstadiet" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2R_TeknikerPaExperimentstadiet.pdf)

^{xii} Fotnot 2.2.X.13: 4e generationens reaktor (Gen-IV) kan komma att utnyttja bränslet mycket effektivare än nuvarande reaktorer, men kommer troligen inte att finnas tillgänglig förrän tidigast om ett par decennier. (http://en.wikipedia.org/wiki/Generation_IV_reactor) Vi kommer att sammanfatta tekniker på experimentstadiet i ett senare mail. (Fotnot KM.2R:)

^{xiii} Fotnot KM.2C:

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

^{xv} Fotnot KM.2D:

^{xvi} Fotnot KM.2D:

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

^{xviii} Fotnot KM.2E:

^{xix} Fotnot KM.2E:

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

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

^{xxii} Fotnot KM.2G:

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

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

^{xxv} Fotnot KM.2K: Kurs-mail "Klimat 2K: 350 ppm, eller kan vi ta bort koldioxid ur luften?" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2K_350ppm.pdf)

^{xxvi} Fotnot 2.2.BQ: Enligt SCB så är Sveriges inrikes bruttotillförsel av energi 139 kWh/pp&d och Sveriges inrikes nettotillförsel av energi är 112 kWh/pp&d. (Fotnot 2.1.CG:) Till det ska läggas ca 25 kWh/pp&d för utrikes resor och transporter samt utrikes producerade varor. (Fotnot 2.1.CI:) Ytterligare 10 kWh/pp&d tillkommer för att ta bort koldioxid som vi redan har släppt ut i atmosfären. (Fotnot KM.2K:) Den svenska energikonsumtionen är då ca 147kWh/pp&d netto och ca 173 kWh/pp&d brutto. Se även sammanställning på: (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/KlimatSammanst_Energibalans.pdf)

Fotnot 2.1.CG: Bruttotillförseln av energi i Sverige var 1721,8 PJ 2011 enligt SCB. (http://www.scb.se/Pages/TableAndChart_24656.aspx) Det motsvarar ca 139 kWh/pp&d: 1721,8PJ / 9500000svenskar / 365dygn ~ 499MJ/pp&d ~ 139 kWh/pp&d
Nettotillförseln av energi i Sverige var 1394,2 PJ 2011 enligt SCB. (http://www.scb.se/Pages/TableAndChart_24662.aspx) Det motsvarar ca 112 kWh/pp&d: 1394,2PJ / 9500000svenskar / 365dygn ~ 404MJ/pp&d ~ 112 kWh/pp&d
(Mellanskillnaden är energiförluster, t.ex. till följd av EROEI, förluster i elnätet etc.)
Dessutom medför vår konsumtion en del energiförbrukning utomlands och vår export medför att en del av vår inrikes energi konsumeras utomlands. Se sammanställning på: (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/KlimatSammanst_Energibalans.pdf)

Fotnot 2.1.CI: Utrikes energikonsumtion:

- 91% av flygresorna är utrikes ~ 4,5 kWh/pp&d (Fotnot 2.1.CJ:)
 - Importerade Grejer ~ 11 kWh/pp&d (Fotnot KM.2G:)
 - Hälften av frakten? ~ 9,5 kWh/pp&d (Fotnot KM.2G:)
- Summa ca 25 kWh/pp&d

Fotnot 2.1.CJ: En svensk flyger i genomsnitt ca 32 mil per år inrikes:
2,98Gpkm / 9500000svenskar ~ 32 mil per person och år
En svensk flyger i genomsnitt ca 328 mil per år utrikes:
31Gpkm / 9500000svenskar ~ 328 mil per person och år
En svensk flyger i genomsnitt ca 360 mil per år sammanlagt:
32mil/pp&år + 328mil/pp&år ~ 360mil/pp&år
... varav 91% utrikes:
32mil/pp&år / 360mil/pp&år ~ 91%
Utsläppen av växthusgaser vid utrikesresor är ca :
7,3MtonCO₂e / 31Gpkm ~ 2,4 kg CO₂e per personmil
4,1MtonCO₂ / 31Gpkm ~ 1,3 kg CO₂ per personmil
Varje kg CO₂ motsvarar ca 3,8 kWh förbrukat bränsle (Fotnot 2.1.BG:) så energiförbrukningen per mil är ca:
1,3kgCO₂/pp&mil * 3,8kWh/kgCO₂ ~ 5 kWh per personmil
Energiförbrukningen i genomsnitt är ca 4,9 kWh per person och dag:
360mil/pp&år * 5kWh/personmil / 365dagar/år ~ 4,9 kWh/pp&d
... varav 4,5 kWh per person och dag utrikes:
328mil/pp&år * 5kWh/personmil / 365dagar/år ~ 4,5 kWh/pp&d
En tur och retur resa till Thailand för en person motsvarar ensam ca 25 kWh per dag i ett helt år.
(Fotnot 2.1.CK:)
Källor:
"Inrikes passagerarkilometer ... Antalet passagerarkilometer uppgick under 2010 till 2,98 miljarder" (http://trafa.se/PageDocuments/Luftfart_2010.pdf) (<http://www.trafa.se/sv/Statistik/Luftfart/>)
"Den svenska befolkningens utrikesresande under ett år ... Flyg ... Resande 31 mdr p-km ... Utsläpp av koldioxid 4,1 Mton CO₂ ... Utsläpp totalt av växthusgaser 7,3 Mton CO₂e" (<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5903-3.pdf> Tabell 4:)

Fotnot 2.1.BG: "Petroleum diesel ... carbon chains that typically contain between 8 and 21 carbon atoms per molecule." (http://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_fuel#Refining)
Låt oss räkna med att diesel i genomsnitt är en enkel kolvätekedja med 15 kolatomer och 32 väteatomer, och att den förbränns fullständigt.
Atomvikten är 12 för kol och 1 för väte.
Andelen som är kol av dieselnsvikt är alltså: $(15 \cdot 12) / (15 \cdot 12 + 32 \cdot 1) \approx 85\%$
Densiteten för diesel är ca 0,9 kg per liter (Fotnot 2.1.CH:) så en liter diesel innehåller:
 $85\% \cdot 0,9\text{kg/liter} \approx 0,76 \text{ kg kol per liter diesel}$
Ett kg kol förbränns till 3,7 kg koldioxid (Fotnot 1.C:)
En liter diesel förbränns alltså till: $0,76\text{kg/liter} \cdot 3,7 \approx 2,8 \text{ kg CO}_2$
Det motsvarar 0,36 l diesel per kg CO₂:
Diesel innehåller drygt 10 kWh/l (Fotnot 2.1.AB:) så 1 kg CO₂ motsvarar också:
 $10,5\text{kWh/l} \cdot 0,36\text{diesel/kgCO}_2 \sim 3,8 \text{ kWh/kgCO}_2$

Fotnot 2.1.CK: Fågelvägen Göteborg-Phuket är det 900 mil. Fågelvägen Stockholm-San Fransisco är också nästan 900 mil.
Ett flygplan förbrukar ca 5 kWh per resenär och mil. (Fotnot 2.1.CJ:)
En interkontinental flygresa ToR förbrukar alltså ca 9 tusen kWh:
 $2 \cdot 900\text{mil} \cdot 5\text{kWh/pp\&mil} \sim 9000 \text{ kWh}$
Utslaget över hela året blir det ca 25 kWh per dag:

9000kWh / 360dagar/år ~ 25 kWh/dag

Fotnot 2.1.CH: "Petrol's density is 0.737. Diesel's is 0.820–0.950" kg per litre (http://www.withouthotair.com/c3/page_31.shtml) (Fotnot 0.3:)

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.AB: Flytande bränsle innehåller en kemisk energi motsvarande ca 10 kWh per liter. "the actual value of 10 kWh per litre. ORNL [2hcgdh] provide the following calorific values: diesel: 10.7 kWh/l; jet fuel: 10.4 kWh/l; petrol: 9.7 kWh/l" (http://www.withouthotair.com/c3/page_31.shtml)
(Fotnot 0.3:)

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

^{xxviii} Fotnot KM.2D:

^{xxix} Fotnot KM.2D:

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

^{xxxi} Fotnot KM.2E:

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

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

^{xxxiv} Fotnot KM.2G:

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

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

^{xxxvii} Fotnot KM.2I:

^{xxxviii} Fotnot KM.2I:

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

^{xl} Fotnot KM.2L: Kurs-mail "Klimat 2L: Hur fyller vi gapet?" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2L_HurFyllerViGapet.pdf)

^{xli} Fotnot KM.2M: Kurs-mail "Klimat 2M: Effektivare energiproduktion" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2M_EffektivareEnergiproduktion.pdf)

^{xlii} Fotnot KM.2N: Kurs-mail "Klimat 2N: Energi-import" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2N_Energiimport.pdf)

^{xliii} Fotnot 2.2.BX: "New York City's greenhouse gas emissions as one-ton spheres of carbon dioxide gas" (<http://www.youtube.com/watch?v=DtqSlplGXOA>)

^{xliv} Fotnot 0.5: Det är viktigt att skilja mellan åsikter och vetenskapliga fakta. Avsikten är att alla påstående 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.

^{xlv} Fotnot 2.2.BK: "As of July 2 2012 in 31 countries 435 nuclear power plant units with an installed electric net capacity of about 370 GW are in operation and 62 plants with an installed capacity of 59 GW are in 14 countries under construction." (<http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/n/nuclear-power-plant-world-wide.htm>)

^{xlvi} Fotnot 2.2.BJ: När det gäller kärnkraft är lagringen av avfallet ett stort problem. När det gäller fossila bränslen försöker vi inte ens lagra avfallet. Vi släpper koldioxiden rakt ut i atmosfären. (Fotnot 2.2.BX:)

När det gäller kärnkraft är risken för kärnkraftsolyckor ett stort problem. Varning Åsikt (Fotnot 0.5): Problemen från 4 eller 5 graders global uppvärmning är större:

Jorden har en landyta på 148940000 km² (<http://en.wikipedia.org/wiki/Earth>)

Låt oss säga att det skulle bli härdsmälta i *vartenda ett* av alla världens 435 (Fotnot 2.2.BK:) kärnkraftverk samtidigt.

Låt oss säga att vi då behövde utrymma 10 mil i alla riktningar runt varje kärnkraftverk. (D.v.s. en cirkel med diameter 20 mil.)

Då skulle ändå mindre än 10% av jordens land-yta drabbas:

$435 \text{ kärnkraftverk} * 10 \text{ mil} * 10 \text{ mil} * \text{Pi} / 148940000 \text{ km}^2 \sim 9\%$

Troligen skulle inte en enda art utrotas. (<http://www.dn.se/nyheter/varlden/himmel-eller-helvete-for-djuren-i-forbjudna-zonen/>)

Jämför det med en global uppvärmning på 4 eller 5 grader:

http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat1D_4grader.pdf (Fotnot KM.1D:)

http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat1E_5grader.pdf (Fotnot KM.1E:)

Se även denna sakliga och intressanta debatt:

http://www.ted.com/talks/debate_does_the_world_need_nuclear_energy.html

^{xlvii} Fotnot KM.1D: Kurs-mail "Klimat 1D: Fyra grader" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat1D_4grader.pdf)

^{xlviii} Fotnot KM.1E: Kurs-mail "Klimat 1E: Fem grader" (http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat1E_5grader.pdf)

^{xlix} Fotnot 2.2.X.103: "2011 Tōhoku earthquake and tsunami ... 15883 deaths, 6145 injured and 2671 people missing" (http://en.wikipedia.org/wiki/2011_T%C5%8Dhoku_earthquake_and_tsunami)

^l Fotnot 2.2.X.101: Följder av olyckan i Fukushima (globalt och någonsin):

- ingen dog av akut strålning
- mellan 2 och 12 människor som arbetade på kärnkraftverket kommer att få cancer
- i storleksordningen 125 människor dör av strålningsrelaterade orsaker (t.ex. cancer)
- i storleksordningen 178 människor blir sjuka av strålningsrelaterade orsaker (t.ex. cancer)
- i storleksordningen 28 människoliv räddades genom evakueringen (t.ex. från cancer)
- i storleksordningen 600 människor dog av evakueringen (t.ex. stress & medicinska komplikationer)
- nästan 20000 människor dog av jordbävningen och tsunamin

Källa: "Worldwide health effects of the Fukushima Daiichi nuclear accident" (

<http://www.stanford.edu/group/efmh/jacobson/TenHoeveEES12.pdf>)

Som jämförelse dör ungefär 200 människor *varje år* av influensa bara i Sverige. (Fotnot 2.2.X.102:)

^{li} Fotnot 2.2.X.102: Under åren 1987-1996 dog i genomsnitt 207 personer per år i Sverige av influensa. (http://www.scb.se/Pages/Product_6936.aspx)

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

^{liii} Fotnot 0.20: Detta är det rekommenderade upplägget: Ägna 3 minuter åt att göra den obligatoriska delen direkt när du får e-målet. Avsluta den obligatoriska delen då även om du inte är säker på att du gör den på det bästa sättet. Om du har tid och lust (det kan vara omedelbart, senare, eller en annan dag) så kan du göra bonusdelen, eller göra om den obligatoriska delen på ett bättre sätt.