

EN ÖVNING I ATT UPPSKATTA STORLEKSORDNINGAR

En viktig färdighet att öva upp när man skall tänka kring frågor om energi och energiförbrukning, är konsten att göra storleksuppskattningar och storleksjämförelser. Nedanstående övningsexempel är inspirerade av boken "Guesstimation, Weinstein and Adams, Princeton University Press (2008)". Problemen är indelade enligt kategori. Notera att lösningsförslagen inte skall betraktas som facit, utan som en startpunkt för egna uppskattningar: Ett okritiskt användande kan leda till obehag!

Transporter

1. Uppskatta hur många kilometer (totalt) vi finländare kör bil under ett år? Hur jämför sig detta tal med avståndet jorden – månen ($4 \cdot 10^5$ km) och jorden – solen ($1,5 \cdot 10^8$ km).

Ledning: Hur mycket kör medelfinnen bil per år? 100 km? 1000 km? 10 000 km? Hur många bilar finns det i Finland? En bil per person? Mindre? Mer? Kontrollera dina gissningar på antalet bilar på http://www.autoalantieto.fi/body_vanhauusi.asp.

2. Uppskatta hur många liter bensin en typisk bil förbrukar under sin livstid.

Ledning: Hur många kilometer kör en bil innan den skrotas? 1000 km? 10 000 km? 100 000 km? 1000 000 km? Hur många liter bensin förbrukar en typisk bil per km? Kontrollera åldern på bilarna i Finland på http://www.autoalantieto.fi/body_vanhauusi.asp.

3. Jämför bränslepriset per kilometer för en bil, respektive en cyklande människa. Bränslet för bilen är bensin och för människan mat.

Ledning: Hur långt kör du på en liter bensin och vad kostar en liter bensin? Hur många kalorier behöver en fullvuxen äta per dag? Hur mycket kostar denna mängd mat? Hur långt kan du cykla på en dag? 10 km? 100 km? 1000 km? Se vilken effekt människan kan genererar när hon trampar på <http://www.green-trust.org/2000/humanpower.htm>

Bränslen

Kemisk energi. Den flesta bränslen vi idag utnyttjar, ger os energi genom en förbränning av kolväteföreningar (olja, bensin, gas,..). Energin som frigörs i sådan en kemisk reaktion är av storleksordningen 1 eV (elektron-Volt), vilket motsvarar cirka $2 \cdot 10^{-19}$ J per reaktion. Vi skall utnyttja detta faktum för att jämföra olika bränslen.

4. Uppskatta hur mycket energi som frigörs när 1 kg bensin förbränns.

Möjlig lösning: Vi förenklar den kemiska formeln för bensin, så att förhållandet kol till väte är CH_2 (egentligen är bensinmolekylen en lång kedja och det exakta förhållandet avviker något från 1:2). En mol "bensin" väger därför uppskattningsvis 14 g och 1 kg innehåller $N = 70$ mol. Vid förbränning oxideras kolen och vätet och bildar CO_2 , respektive H_2O . Eftersom vardera reaktion frigör ca. 1 eV, så frigörs totalt 2 eV. Den frigjorda energin vid förbränningen av 1 kg blir då: $E = 70 \text{ mol/kg} \cdot 6 \cdot 10^{23} \text{ reaktioner/mol} \cdot 2 \text{ eV/reaktion} \cdot 1 \text{ J} / 6 \cdot 10^{18} \text{ eV} \approx 1,5 \cdot 10^7 \text{ J/kg}$. Tabellvärdet är $4,5 \cdot 10^7 \text{ J/kg}$. Våra grova uppskattningar gjorde att vi förlorade en faktor 3, vilket inte är så dåligt (för exaktare beräkningar kontakta närmsta kemist).

5. Uppskatta hur mycket energi som finns lagrat i ett vanligt 1,5 V batteri.

Ledning: Energin (i Joule) är enligt ellära lika med effekt P (i Watt) gånger tid t (i sekunder). Hur stor effekt har en liten glödlampa kopplad till batteriet? 1 W? 10 W? 100 W? Hur länge lyser lampan när du kopplar den till batteriet? 1 timme? 10 timmar? 1 dygn?

Kontroll av uppskattningen: Enligt databladet för ett batteri av D-typ och 1,5 V

(<http://www.houseofbatteries.com/dosearch.php?Manufacturer=Duracell>) så levererar batteriet ca. 20 ampere-timmar (Ah), vilket ger att den lagrade energin (minns att effekt = spänning·ström)

$E = P \cdot t = U \cdot I \cdot t = 1,5 \text{ V} \cdot 20 \text{ A h} \cdot 3600 \text{ s/h} \approx 1 \cdot 10^5 \text{ J}$. Eftersom batteriet väger ca. 100 g, så blir energin per massa $1 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$ (jämfört med bensin $4 \cdot 10^7 \text{ J/kg}$, dvs 40 gånger större).

6. Uppskatta massan hos de batterier du behöver för att ersätta energin i en biltank bensin.

Ledning: Hur många liter bensin rymmer bensintanken i en vanlig bil? Notera att densiteten för bensin är ca. 3/4 den hos vatten, varför energin i en liter bensin är $3 \cdot 10^7 \text{ J/L}$. Moderna, laddningsbara litium-batterier innehåller en energi per massa på ca. $6 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$

(http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_ion_battery), varför massa hos de batterier som behövs fås som $m = (\text{tankens volym i liter} \cdot 3 \cdot 10^7 \text{ J/L}) / 6 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$. Tar vi hänsyn till att en bensinmotor har en verkningsgrad som är ca. 1/3 av elmotorns, så måste den erhållna massan ännu divideras med 3.

Typiska värden blir då kring 1000 kg, vilket är ungefär lika stor massa som hela bilens massa.

7. Ett framtida möjligt bibränsle är etanol. Etanol kan framställas av sockerrör, majs, spannmål och skogsprodukter (<http://sv.wikipedia.org/wiki/Etanol>). Uppskatta vilka arealer som borde odlas för att ersätta Finlands bensinbehov med etanol.

Möjlig lösning: En möjlig startpunkt är att gräva fram statistik om den totala bränsleförbrukningen i Finland. Låt oss dock i stället uppskatta denna genom att utgå att det finns 1 miljon bilar i Finland, vilka kör ca. 10 000 km per år och som konsumerar i medeltal 0,1 liter per km (motsvara full tank varannan vecka). Detta ger en total bränsleförbrukning på 10^9 liter och en energimängd på 10^{16} J . Energidensiteten är lite lägre för etanol jämfört med bensin, men låt oss försumma denna skillnad och anta att vi årligen måste producera 10^9 liter etanol. Låt oss använda vete som exempel och använda allt utom själva säden (för att inte minska matproduktionen). En odling på en hektar ger ca. 5000 kg säd och 7000 kg rester att utnyttja i etanolframställningen (<http://ergobalance.blogspot.com/2006/10/ethanol-from-wheat-straw-can-only-work.html>) 1000 kg rester uppskattas ge något över 200 kg etanol, så att en hektar ger 1400 kg etanol. Låt oss avrunda detta till att 1 hektar ger 1000 liter etanol, vilket innebär att det behövs ca. 10^6 hektar (10^4 km^2) för att täcka etanolbehovet. Detta är en odlingsareal större än hela Nyland (6370 km^2). Notera att vi försummat energiåtgången vid själva framställningen av etanolen.

Sol och vindenergi

Solarkonstanten. En siffra att komma ihåg är att jorden nås av ca. 1000 W/m^2 solenergi en vacker sommardag.

8. Uppskatta vilken area som skulle behöva täckas av solpaneler för att täcka Finlands elbehov (90 TWh år 2007 enligt <http://www.energi.fi/fi/tilastot>).

Ledning: Omvandla TWh till J: $90 \text{ TWh} = 9,0 \cdot 10^{13} \text{ J/s} \cdot 3600 \text{ s} = 3,2 \cdot 10^{17} \text{ J/år}$. Denna mängd energi bör fås från solen. En kvadratmeter kan ge på ett år $1/2 \cdot 1000 \text{ J/s} \cdot 6 \text{ h} \cdot 365 \cdot 3600 \text{ s/h} = 4 \cdot 10^9 \text{ J}$ (antagit halva solarkonstanten och att solen lyser i snitt 6 timmar per dygn, vilket är väldigt optimistiskt). Vi skulle alltså behöva täcka 10^8 m^2 (100 km^2) med solpaneler. Detta är klart en underskattning, eftersom antalet soltimmar är mindre och verkningsgraden för dagens solceller under 50% (http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell).

9. Uppskatta hur mycket energi ett stort vindkraftverk producerar.

Ledning: Det är luftens kinetiska energi som utnyttjas. Om luftens massa är 1 kg/m^3 , typisk vingradie 40 m och vindhastigheten 10 m/s, så rör sig luftmassan $10 \text{ m} \cdot \pi \cdot (40 \text{ m})^2 \cdot 1 \text{ kg/m}^3 = 5 \cdot 10^4 \text{ kg}$ förbi vingarna per sekund. Detta ger en kinetisk energi motsvarande $3 \cdot 10^6 \text{ J}$ per sekund, dvs. 3 MW. Vi har använt en 100% verkningsgrad för omvandlingen från vindens kinetiska energi - elenergi. I verklighet ligger den under 50% för ett vindkraftverk (<http://sv.wikipedia.org/wiki/Vindkraftverk>), så 1 MW ligger närmare sanningen. Ett vindkraftverk skulle alltså ge ca. 10^{13} J energi på ett år. För att täcka Finlands årliga elbehov på ca. 10^{17} J skulle det alltså behövas 10 000 vindkraftverk av denna typ. Tyvärr blåser det inte alltid med 10 m/s längs Finlands kuster.

Kol och koldioxidutsläpp

10. Hur många kilogram kol slukar ett 1 GW elproducerande kolkraftverk per år? Notera att 3 GW värmeenergi resulterar i ca. 1 GW elenergi.

Ledning: Vill vi inte slå upp energin i 1 kg kol, kan vi utgå ifrån att 1 kg kol innehåller 80 mol och att varje reaktion $\text{C} + \text{O}$ till CO_2 frigör cirka 1 eV energi (se uppgift 4). Energin som frigörs när 1 kg kol brinner blir därför $E = 1 \text{ eV} \cdot 2 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} \cdot 6 \cdot 10^{23} \text{ atomer/mol} \cdot 80 \text{ mol/kg} = 10^7 \text{ J/kg}$. Kraftverket på 1 GW slukar 3 GW, vilket betyder att energin som måste tillföras är 10^{17} J/år . Det behövs alltså 10^{10} kg kol per år för att hålla kraftverket igång. Detta motsvarar något mer än ett tåg med hundra vagnar, där varje vagn tar 100 ton kol, per dag!

11. Uppskatta hur många kilogram koldioxid kolkraftverket i uppgift 10 släpper ut i atmosfären varje år.

Ledning: Vi kom fram till att det behövdes 10^{10} kg kol per år. Eftersom CO_2 är cirka 3 gånger tyngre än kolatomen, frigörs $3 \cdot 10^{10} \text{ kg}$ CO_2 till atmosfären. Jordens atmosfär väger cirka $5 \cdot 10^{18} \text{ kg}$ (http://en.wikipedia.org/wiki/Earth's_atmosphere).

12. Uppskatta hur många kilogram koldioxid en vanlig bil släpper ut i atmosfären under ett år? Finlands alla bilar?

Ledning: Vi uppskattar att en typisk bil förbrukar 2000 kg bensin per år. Liksom i uppgift 4 antar vi att vår "bensinmolekyl" är CH_2 (14 g per mol) och denna producerar CO_2 (44 gram per mol). En cirka fyra gånger större massa CO_2 frigörs, dvs. 8000 kg. Med något över 1 miljon bilar innebär detta att den Finländska trafiken släpper ut i storleksordningen 10^{10} kg koldioxid till atmosfären per år, vilket är av samma storleksordning som kolkraftverket i uppgift 11.

13. Uppskatta hur många träd (t.ex. granar) du måste plantera varje år för att kompensera för ditt personliga koldioxidbidrag till atmosfären.

Möjlig lösning: Finlands totala koldioxidutsläpp låg på lite över 60 miljoner ton år 2003 (<http://www.stat.fi/ajk/tiedotteet/v2003/049enes.html>), vilket gör att varje Finländare bidrog i medeltal med lite över 10 ton koldioxid årligen till atmosfären. Massan hos en fullvuxen gran är kring 1000 kg, med över hälften av massan kommer från vatten (<http://www.skogssverige.se/page.cfm?id=15&id3=120&page=2>).

Av granens ca. 500 kg torrs substans är stora delar cellulosa och lignin och man brukar uppskatta att kring 40% av torrs substansen utgörs av kol. En fullvuxen gran innehåller alltså ca 200 kg kol. Denna mängd kol kommer från lite under 1000 kg CO_2 , som tagits upp från atmosfären när trädet växt. Varje finländare bör alltså plantera 10 nya träd varje år, vilka skulle (med ett avstånd på 4-5 meter mellan träden) ta upp en area på cirka 100 m^2 . Med 5 miljoner finländare blir detta en nyplanterad area på 500 miljoner kvadratmeter per år, eller 500 kvadratkilometer. På 13 år innebär detta en nyplantering större än hela Nyland (6370 km^2).