

## Klimat 2U: Energi-lagring

(På 3<sup>i</sup> minuter hinner du läsa det som står med fetstil. Gör det nu. <sup>ii</sup>)

### Variation i energimängd:

1) Följande energikällor producerar elektricitet när vädret tillåter, inte när den behövs:

Vindkraft: **13 kWh/pp&d** <sup>iii</sup>

Vindkraft till havs: **4,8 kWh/pp&d** <sup>iv</sup>

Sol på tak: **3 kWh/pp&d** <sup>v</sup>

Totalt 21 kWh/pp&d

2) Om energigapet också ska produceras med solenergi eller vindkraft så blir det ytterligare 21 kWh per person och dygn.

3) Vad händer om det förbrukas extra mycket energi ett mörkt och vindstilla dygn? Hur mycket är "extra mycket energi"?

Under 2010 så var den högsta elförbrukningen i Sverige under ett dygn 520 GWh, och den genomsnittliga elförbrukningen under ett dygn 360 GWh. <sup>vi</sup>

Den dagen var det alltså 44% större elförbrukning än normalt.

Om variationen inom den totala energiförbrukningen (150 kWh/ pp&d <sup>vii</sup>) är i samma storleksordning så bör alltså "extra mycket energi" innebära högst ca:

$44\% * 150\text{kWh/pp\&d} \sim 66\text{ kWh/pp\&d}$

Vi har alltså 3 poster som kan behöva täckas ett mörkt och vindstilla dygn:

21 kWh/pp&d                      Normal netto-produktion från sol och vind

21 kWh/pp&d                      Energigap

66 kWh/pp&d                      Största variation

Summa: 109 kWh/pp&d

## **Hur länge "klarar" vi oss om det är stiltje och för mörkt för att producera solenergi, samtidigt som vi väljer att förbruka extremt mycket energi?**

De dygn då sol och vind ska ersättas av ett annat energislag så måste de andra energislagen producera både så mycket energi som vi hade planerat för varje energislag och därutöver så mycket som vi hade räknat med från sol och vind.

Summan av de tre posterna ovan om de skulle inträffa samma dygn är ca: 109 kWh/pp&d  
Låt oss säga att vi behöver lagra 100 kWh per person och dygn för att en varierande produktion och konsumtion under en period inte ska märkas.

### **Vattenkraft**

Vattenmagasinen för Sveriges vattenkraft rymmer motsvarande 3600 kWh per svensk.<sup>viii</sup> Om vattenmagasinen är fyllda kan de alltså lagra motsvarande 36 extrema dygn.<sup>ix</sup>

Hur stor del av vattenmagasinen kan man i praktiken fylla respektive tömma för att täcka upp för täcka upp för variationer i sol- och vind-energitillgång och förbrukning?

Vattenmagasinen brukar fyllas av snösmältning på våren och av regn på sommaren och hösten. Låt oss säga att vattenmagasinen kan täcka upp för 18 dygn av stiltje och vintermörker innan de fylls på igen vid snösmältningen.

Om vi dessutom anlägger vattenkraftsdammar nedanför kraftverken (och inte bara ovanför som nu) så kan vi använda vindkrafts-el till att pumpa upp vatten och fylla på vattenmagasinen blåsiga dygn när vi inte behöver elen till annat.<sup>x</sup>

Bonus: Återigen är Sverige lyckligt lottat med sina relativt stora ytor och lilla befolkning. Här är en uträkning för USA:

<http://physics.ucsd.edu/do-the-math/2011/11/pump-up-the-storage/>

Bonusuppgift: Jag har inte kontrollräknat hans beräkningar. Hjälp mig gärna att göra det.

**Vattenkraft: 18 dygn**

## **Bränslen**

Följande bränslen kan lagras och användas för att producera energi när den behövs:

Energi-grödor: **12 kWh/pp&d** <sup>xi</sup>

Skogsavfall: **36 kWh/pp&d** <sup>xii</sup>

Torv: **7 kWh/pp&d** <sup>xiii</sup>

Biogas: **4,4 kWh/pp&d** <sup>xiv</sup>

Sopförbränning: **1 kWh/pp&d** <sup>xv</sup>

Totalt  $12 + 36 + 7 + 4,4 + 1 \sim 61$  kWh/pp&d

En årsproduktion skulle alltså räcka till att täcka upp för variationer i förbrukning och sol- och vind-energitillgång i:

$(61\text{kWh/pp\&d} * 365\text{dygn}) / 100\text{kWh/pp\&d} \sim 222$  dygn

Hur mycket av bränslet är det realistiskt att sätta av för att bränna mörka och vindstilla dygn? Låt oss säga en tredjedel. Då skulle bränslena kunna täcka upp för bristen på sol och vind under 74 dygn

Bränslena måste förstås lagras tills de behövs. Det kommer att kräva att stora lager byggs upp under sommaren för att täcka kalla mörka vindstilla vinterdygn.

(Producers skogsavfall mest på sommaren eller på vintern?)

**Bränslen: 74 dygn**

***Notera att det här kräver en överkapacitet av kraftverk. När det är ett överskott på sol och vind så kommer de andra kraftverken att stå still, och när det är mörkt eller vindstilla kommer sol eller vindkraftverken att stå still.***

### Energiförbrukning (kWh/person och dygn):

Apparater, IT, Media & Underhållning: **5 kWh/pp&d** <sup>xvi</sup>

Ljus: **3 kWh/pp&d** <sup>xvii</sup>

Bil: **14 kWh/pp&d** <sup>xviii</sup>

Flyg: **4,9 kWh/pp&d** <sup>xix</sup>

Övrig persontransport: **1,7 kWh/pp&d** <sup>xx</sup>

Mat: **12 kWh/pp&d** <sup>xxi</sup>

Vatten: **0,4 kWh/pp&d** <sup>xxii</sup>

Jordbruk: **2,9 kWh/pp&d** <sup>xxiii</sup>

Värme och kyla: **33 kWh/pp&d** <sup>xxiv</sup>

Grejer: **22 kWh/pp&d** <sup>xxv</sup>

Frakt: **19 kWh/pp&d** <sup>xxvi</sup>

Offentlig sektor: **22 kWh/pp&d** <sup>xxvii</sup>

CO2 minskning: **10 kWh/pp&d** <sup>xxviii</sup>

 **150 kWh/pp&d** <sup>xxix</sup>

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

Vattenkraft: **29 kWh/pp&d** <sup>xxx</sup>

Energi-grödor: **12 kWh/pp&d** <sup>xxxi</sup>

Skogsavfall: **36 kWh/pp&d** <sup>xxxii</sup>

Torv: **7 kWh/pp&d** <sup>xxxiii</sup>

Biogas: **4,4 kWh/pp&d** <sup>xxxiv</sup>

Sopförbränning: **1 kWh/pp&d** <sup>xxxv</sup>

Värmepumpar: **18 kWh/pp&d** <sup>xxxvi</sup>

Vindkraft: **13 kWh/pp&d** <sup>xxxvii</sup>

Vindkraft till havs: **4,8 kWh/pp&d** <sup>xxxviii</sup>

Sol på tak: **3 kWh/pp&d** <sup>xxxix</sup>

Vätgas: **0 kWh/pp&d** <sup>xl</sup>

Metanol: **0 kWh/pp&d** <sup>xli</sup>

Trädplantering: **0 kWh/pp&d** <sup>xlii</sup>

 **129 kWh/pp&d**

**Energi-gap: ca 21 kWh per person och dygn**

Bonus: Litet men positivt: Det pågår forskning för att framställa stora effektiva batterier. (OM batteri-exemplen i fotnoten <sup>xliii</sup> skulle fungera så skulle det krävas mellan 0,25 m<sup>3</sup> och 4 m<sup>3</sup> batterier per person och dygn för att täcka upp för variationerna i sol- och vind-energitillgång och förbrukning. <sup>xliv</sup> För varje mörk vindstilla dag med hög förbrukning krävs då batterier på en yta motsvarande knappt 1% av Sveriges industribyggnader. <sup>xlv</sup>)  
Humor-bonus <sup>xlvi</sup>: <http://fasab.files.wordpress.com/2012/12/wind-turbine-fan-cartoon.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  
Försök att alltid utföra dagens uppgift direkt när du får mailet. Om du bara har 3 minuter, så slutför uppgiften så bra som du hinner bli på 3 minuter. <sup>xlvii</sup>

Detta mail kan även laddas ner som PDF från:  
[http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2U\\_Energilagring.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2U_Energilagring.pdf)

Bonus: Nästa mail kan laddas ner som PDF från:  
[http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat3J\\_RCI.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat3J_RCI.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.

---

<sup>i</sup> 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/>

<sup>ii</sup> 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.

<sup>iii</sup> Fotnot KM.2G:

<sup>iv</sup> Fotnot KM.2G: Kurs-mail: "Klimat 2G: Grejer, Frakt och Vindkraft" (

[http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2G\\_GrejerFraktVindkraft.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2G_GrejerFraktVindkraft.pdf) )

<sup>v</sup> Fotnot KM.2H: Kurs-mail: "Klimat 2H: Offentlig sektor och Solenergi" (

[http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2H\\_OffentligsektorSolenergi.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2H_OffentligsektorSolenergi.pdf) )

<sup>vi</sup> Fotnot 2.2.X.97: Under 2010 så var den högsta elförbrukningen i Sverige under ett dygn 520 GWh, och den genomsnittliga elförbrukningen under ett dygn 360 GWh. (

<http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Downloads/Historical-Data-Download1/Data-Download-Page/> )

<sup>vii</sup> Fotnot Sammanst.EB: Sammanställning "Energibalans" (

[http://klimatcbt.yolasite.com/resources/KlimatSammanst\\_Energibalans.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/KlimatSammanst_Energibalans.pdf) )

<sup>viii</sup> Fotnot 2.2.X.80: "fyllnadsgrad i Nordens vattenmagasin 100 % =121,2 TWh" (

[http://www.svk.se/Global/01\\_Om\\_oss/Pdf/Driftradet/DRAD\\_3-11\\_BILAGA2\\_vatten.pdf](http://www.svk.se/Global/01_Om_oss/Pdf/Driftradet/DRAD_3-11_BILAGA2_vatten.pdf) sid 3 )

121,2 TWh motsvarar 3564 kWh per person i Sverige:

121,2TWh / 9500000människor ≈ 3564 kWh per person

---

<sup>ix</sup> Fotnot 2.2.X.99: Under ett mörkt och vindstilla dygn finns 3 poster om sammanlagt 109 kWh/pp&d som kan behöva täckas:

21 kWh/pp&d Normal netto-produktion från sol och vind

21 kWh/pp&d Energigap

66 kWh/pp&d Största variation

Låt oss säga att vi behöver lagra 100 kWh per person och dygn för att en varierande produktion och konsumtion under en period inte ska märkas.

Vattenmagasinen för Sveriges vattenkraft rymmer motsvarande 3600 kWh per svensk. ( [http://www.svk.se/Global/01\\_Om\\_oss/Pdf/Driftradet/DRAD\\_3-11\\_BILAGA2\\_vatten.pdf](http://www.svk.se/Global/01_Om_oss/Pdf/Driftradet/DRAD_3-11_BILAGA2_vatten.pdf) ) Om vattenmagasinen är fyllda kan de alltså lagra motsvarande 36 extrema dygn: 3600kWh / 100kWh/pp&d ~ 36 dygn

<sup>x</sup> Fotnot 2.2.X.98: Vattenkraftverket I Juktan byggdes ursprungligen för energilagring, då vattnet pumpades upp 210 m till ett högre vattenmagasin. När vattnet senare användes till att driva turbinerna så återfick man el-energin:

<http://produktion.vattenfall.se/powerplant/juktan>

<http://powerplants.vattenfall.com/node/351>

<sup>xi</sup> Fotnot KM.2D:

<sup>xii</sup> Fotnot KM.2D:

<sup>xiii</sup> Fotnot KM.2D: Kurs-mail "Klimat 2D: Persontransporter, Energigröda, Skogsavfall och Torv" ( [http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2D\\_PersontransporterEnergigrodaSkogsavfallTorv.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2D_PersontransporterEnergigrodaSkogsavfallTorv.pdf) )

<sup>xiv</sup> Fotnot KM.2E:

<sup>xv</sup> Fotnot KM.2E: Kurs-mail "Klimat 2E: Mat, Vatten, Jordbruk, Biogas och Söföbränning" ( [http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2E\\_MatJordbrukBiogasSopforbranning.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2E_MatJordbrukBiogasSopforbranning.pdf) )

<sup>xvi</sup> Fotnot KM.2C:

<sup>xvii</sup> Fotnot KM.2C: Kurs-mail "Klimat 2C: Apparater, IT, Media, Ljus och Vattenkraft" ( [http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2C\\_ApparaterITMediaLjusVattenkraft.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2C_ApparaterITMediaLjusVattenkraft.pdf) )

<sup>xviii</sup> Fotnot KM.2D:

<sup>xix</sup> Fotnot KM.2D:

---

<sup>xx</sup> Fotnot KM.2D: Kurs-mail "Klimat 2D: Persontransporter, Energigröda, Skogsavfall och Torv" ( [http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2D\\_PersontransporterEnergigrodaSkogsavfallTorv.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2D_PersontransporterEnergigrodaSkogsavfallTorv.pdf) )

<sup>xxi</sup> Fotnot KM.2E:

<sup>xxii</sup> Fotnot KM.2E:

<sup>xxiii</sup> Fotnot KM.2E: Kurs-mail "Klimat 2E: Mat, Vatten, Jordbruk, Biogas och Söföbränning" ( [http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2E\\_MatJordbrukBiogasSopforbranning.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2E_MatJordbrukBiogasSopforbranning.pdf) )

<sup>xxiv</sup> Fotnot KM.2F: Kurs-mail: "Klimat 2F: Värme, Kyla, Värmepumpar" ( [http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2F\\_VarmeKylaVarmepumpar.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2F_VarmeKylaVarmepumpar.pdf) )

<sup>xxv</sup> Fotnot KM.2G:

<sup>xxvi</sup> Fotnot KM.2G: Kurs-mail: "Klimat 2G: Grejer, Frakt och Vindkraft" ( [http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2G\\_GrejerFraktVindkraft.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2G_GrejerFraktVindkraft.pdf) )

<sup>xxvii</sup> Fotnot KM.2H: Kurs-mail: "Klimat 2H: Offentlig sektor och Solenergi" ( [http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2H\\_OffentligsektorSolenergi.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2H_OffentligsektorSolenergi.pdf) )

<sup>xxviii</sup> 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](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2K_350ppm.pdf) )

<sup>xxix</sup> 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](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](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](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](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 360 mil per år varav 32 mil inrikes (

[http://trafa.se/PageDocuments/Luftfart\\_2010.pdf](http://trafa.se/PageDocuments/Luftfart_2010.pdf) Tabell 5.1 ) (

<http://www.trafa.se/sv/Statistik/Luftfart/> ) och 328 mil utrikes. Koldioxidutsläppen från

utrikesresorna är 434 kg CO<sub>2</sub> per år (

<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5903-3.pdf> Tabell 4:)

(Fotnot XIII:) vilket motsvarar ca 5 kWh per personmil. (Fotnot 2.1.BG:)

Varje liter bränsle innehåller ca 9,7 kWh (Fotnot 2.1.AB:) så förbrukningen är ca 0,47 liter bränsle per personmil.

Energiförbrukningen i genomsnitt är ca 4,9 kWh per person och dag:

360mil \* 5kWh/mil / 365dagar/år ~ 4,9 kWh/pp&d

... varav 4,5 kWh per person och dag utrikes:

328mil \* 5kWh/mil / 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:)

Fotnot XIII: Naturvårdsverkets rapport 5903 "Konsumtionens klimatpåverkan":

"i Sverige motsvarar utsläppen i ett konsumtionsperspektiv drygt 10 ton CO<sub>2</sub>e per capita" (

<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5903-3.pdf> )

Det motsvarar:

10tonCO<sub>2</sub>e/pp&år / 365dygn/år ≈ 27 kg koldioxid-ekvivalenter per person och dygn

Våra konsumtionsbaserade utsläpp har ökat och fortsätter att öka:

( [http://www.scb.se/statistik/publikationer/MI1305\\_2012A01\\_BR\\_MI72BR1201.pdf](http://www.scb.se/statistik/publikationer/MI1305_2012A01_BR_MI72BR1201.pdf) "Figur 3.

Utsläpp av växthusgaser förorsakade av svensk konsumtion")

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](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 dieselnas vikt 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 CO<sub>2</sub>:

Diesel innehåller drygt 10 kWh/l (Fotnot 2.1.AB:) så 1 kg CO<sub>2</sub> motsvarar också:

$10,5\text{kWh/l} \cdot 0,36\text{ldiesel/kgCO}_2 \sim 3,8 \text{ kWh/kgCO}_2$

---

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](http://www.withouthotair.com/c3/page_31.shtml) ) (Fotnot 0.3:)

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:

$2 * 900\text{mil} * 5\text{kWh/pp\&mil} \sim 9000 \text{ kWh}$

Utslaget över hela året blir det ca 25 kWh per dag:

$9000\text{kWh} / 360\text{dagar/år} \sim 25 \text{ kWh/dag}$

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](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 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/tesd/> )

<sup>xxx</sup> Fotnot KM.2C: Kurs-mail "Klimat 2C: Apparater, IT, Media, Ljus och Vattenkraft" ( [http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2C\\_ApparaterITMediaLjusVattenkraft.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2C_ApparaterITMediaLjusVattenkraft.pdf) )

<sup>xxxi</sup> Fotnot KM.2D:

<sup>xxxii</sup> Fotnot KM.2D:

---

<sup>xxxiii</sup> Fotnot KM.2D: Kurs-mail "Klimat 2D: Persontransporter, Energigröda, Skogsavfall och Torv" ( [http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2D\\_PersontransporterEnergigrodaSkogsavfallTorv.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2D_PersontransporterEnergigrodaSkogsavfallTorv.pdf) )

<sup>xxxiv</sup> Fotnot KM.2E:

<sup>xxxv</sup> Fotnot KM.2E: Kurs-mail "Klimat 2E: Mat, Vatten, Jordbruk, Biogas och Söföbränning" ( [http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2E\\_MatJordbrukBiogasSopforbranning.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2E_MatJordbrukBiogasSopforbranning.pdf) )

<sup>xxxvi</sup> Fotnot KM.2F: Kurs-mail: "Klimat 2F: Värme, Kyla, Värmepumpar" ( [http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2F\\_VarmeKylaVarmepumpar.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2F_VarmeKylaVarmepumpar.pdf) )

<sup>xxxvii</sup> Fotnot KM.2G:

<sup>xxxviii</sup> Fotnot KM.2G: Kurs-mail: "Klimat 2G: Grejer, Frakt och Vindkraft" ( [http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2G\\_GrejerFraktVindkraft.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2G_GrejerFraktVindkraft.pdf) )

<sup>xxxix</sup> Fotnot KM.2H: Kurs-mail: "Klimat 2H: Offentlig sektor och Solenergi" ( [http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2H\\_OffentligsektorSolenergi.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2H_OffentligsektorSolenergi.pdf) )

<sup>xl</sup> Fotnot KM.2I:

<sup>xli</sup> Fotnot KM.2I:

<sup>xlii</sup> Fotnot KM.2I: Kurs-mail: "Klimat 2I: Vätgas, Metanol och Trädplantering" ( [http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2I\\_VatgasMetanolTradplantering.pdf](http://klimatcbt.yolasite.com/resources/Klimat2I_VatgasMetanolTradplantering.pdf) )

<sup>xliii</sup> Fotnot 2.2.X.79:

<sup>xliv</sup> Fotnot 2.2.X.79: Hur stor volym krävs för att lagra 100 kWh i ett batteri?

**OBS! Detta är tekniker på experiment-stadiet!**

- 0,53 m<sup>3</sup> batteri \* Energilager som testas i verkligheten. ( [http://www.nyteknik.se/nyheter/energi\\_miljo/energi/article3367343.ece](http://www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/energi/article3367343.ece) )

- 1,2 m<sup>3</sup> batteri \*\* Grafen-super-kapacitans. ( [http://www.prisjakt.nu/pryl/ovrigt/3451\\_nya\\_tekniken\\_laddar\\_fullt\\_pa\\_sekunder](http://www.prisjakt.nu/pryl/ovrigt/3451_nya_tekniken_laddar_fullt_pa_sekunder) ) ( <http://www.kcet.org/news/rewire/science/super-fast-biodegradable-batteries-made-of-carbon.html> )

- 3,9 m<sup>3</sup> energilager inklusive kabeldragning och lokal \*\*\* En relativt billigt batteriteknik att massproducera. (

[http://www.ted.com/talks/donald\\_sadoway\\_the\\_missing\\_link\\_to\\_renewable\\_energy.html](http://www.ted.com/talks/donald_sadoway_the_missing_link_to_renewable_energy.html) )

---

- 0,33 m3 batteri? \*\*\*\* Ett lätt batteri som använder luftens syre. ( <http://www.extremetech.com/computing/126745-ibm-creates-breathing-high-density-light-weight-lithium-air-battery> )

... och arbete pågår med många fler tekniker: ( <http://www.greencarcongress.com/batteries/> )

---

\*

20 litiumjonbatterier kan ge 75 kW i en timme, d.v.s. 75 kWh. ( [http://www.nyteknik.se/nyheter/energi\\_miljo/energi/article3367343.ece](http://www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/energi/article3367343.ece) ) För att lagra 100 kWh krävs alltså:

$100\text{kWh} * 20\text{Li-batterier} / 75\text{kWh} \approx 27$  litiumjonbatterier

Hur stora är batterierna? Liknande batterier från ABB som kan ge 75 kW väger 400 kg. (

<http://www.abb.com/cawp/seabb361/53b71857a0dff06ec125758400333917.aspx> )

Om batterierna laddas ur på en timme så krävs då 533 kg batterier för att lagra 100 kWh:

$100\text{kWh} * 400\text{kg} / 75\text{kWh} \approx 533$  kg

Om vi gissar att batterierna har en densitet som är minst lika hög som vattnets, så skulle batteriernas volym bli högst:

$533\text{kg} / 1000\text{kg}/\text{m}^3 \approx 0,53$  m<sup>3</sup>

\*\*

"A supercapacitor with graphene-based electrodes was found to exhibit a specific energy density of 85.6 Wh/kg" ( <http://bucky-central.me.utexas.edu/RuoffsPDFs/179.pdf> )

För att lagra 100 kWh krävs alltså 1180 kg:

$100\text{ kWh} / 85.6\text{ Wh}/\text{kg} \approx 1180$  kg

Om vi gissar att batterierna har en densitet som är minst lika hög som vattnets, så skulle batteriernas volym bli högst:

$1180\text{kg} / 1000\text{kg}/\text{m}^3 \approx 1,2$  m<sup>3</sup>

\*\*\*

I ett utrymme motsvarande en "40 foot shipping container" skulle man kanske kunna lagra 2MWh i ett relativt billigt batteri. (

[http://www.ted.com/talks/donald\\_sadoway\\_the\\_missing\\_link\\_to\\_renewable\\_energy.html](http://www.ted.com/talks/donald_sadoway_the_missing_link_to_renewable_energy.html) )

Volymen av en sådan container är 77 m<sup>3</sup>. ( [http://en.wikipedia.org/wiki/Twenty-foot\\_equivalent\\_unit#Equivalence](http://en.wikipedia.org/wiki/Twenty-foot_equivalent_unit#Equivalence) ) För att lagra 100 kWh skulle det alltså krävas:

$100\text{kWh} * 77\text{m}^3 / 2\text{MWh} \approx 3,9$  m<sup>3</sup>

\*\*\*\*

Den teoretiska gränsen för hur mycket energi som kan lagras i litium-luft batterier är 12 kWh/kg ( <http://www.extremetech.com/computing/126745-ibm-creates-breathing-high-density-light-weight-lithium-air-battery> )

Låt oss gissa att det i praktiken kan vara möjligt att komma upp i 10% av detta teoretiska maximum.

Låt oss gissa att det energi-lagrande materialet har ungefär samma densitet som vatten.

Låt oss gissa att en fjärdedel av volymen i batteriet upptas av energi-lagrande material.

För att lagra 100 kWh skulle det då krävas:

$4 * 100\text{kWh} / 12\text{ kWh}/\text{kg} / 10\% / 1000\text{kg}/\text{m}^3 \approx 0,33$  m<sup>3</sup>

<sup>xlv</sup> Fotnot 2.2.X.106: Låt oss säga att vi behöver lagra 100 kWh/pp&d för att täcka upp för variationer i tillgången på energi från sol & vind och för variationer i förbrukningen av energi. Om energin skulle lagras i batterier så skulle det kanske kräva mellan 0,33 och 4 kubikmeter batterier per person och dag. (Fotnot 2.2.X.79:) **OBS: Tekniken är på experimentstadiet**

Låt oss räkna på ett behov av 1 m<sup>3</sup> batterier per person och dag.

Då skulle det krävas 9,5 miljoner m<sup>3</sup> batterier i Sverige för varje dygn med låg energiproduktion och hög förbrukning:

$1\text{m}^3/\text{pp}\&\text{d} * 9500000\text{svenskar} \approx 9,5$  miljoner m<sup>3</sup>

---

Låt oss säga att vi vill lagra energi för 30 mörka vindstilla dagar med hög energiförbrukning i hela landet. Då skulle det krävas 280 miljoner m<sup>3</sup> batterier i Sverige:

$9,5\text{Mm}^3 * 30\text{dagar} \approx 280\text{ miljoner m}^3$

I Sverige finns "ca 123 miljoner m<sup>2</sup> lokalarea i industribyggnader" (

[http://www.scb.se/Statistik/EN/EN0103/\\_dokument/EN0103\\_BS\\_2008\\_ny.pdf](http://www.scb.se/Statistik/EN/EN0103/_dokument/EN0103_BS_2008_ny.pdf) )

Om man lagrar batterierna på flera våningar så att det finns 10 m batterier ovanför varandra så motsvarar lagringsytan för 9,5 miljoner m<sup>3</sup> batterier ca 0,8% av lokalarean i Sveriges industribyggnader:

$9,5\text{Mm}^3 / 10\text{m} / 123\text{Mm}^2 \approx 0,8\%$

Om man behöver lagra energi motsvarande 30 mörka & vindstilla dygn med hög förbrukning i batterier så skulle ytan motsvara 23% av lokalarean i Sveriges industribyggnader:

$30\text{dygn} * 0,8\%/\text{dygn} \approx 23\%$

<sup>xlvi</sup> Fotnot 0.13: Det som inte tål att skrattas åt är väl inte heller värt att ta på allvar :-)

<sup>xlvii</sup> 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.