

EKSAMEN i FY 2290 Energiressurser - Løsningsforslag

Torsdag 29. mai 2008

OPPGAVE 1: ENERGI FRA SOLA (50%)

- a) (10%) Sola er den viktigste energikilden vi utnytter (direkte, indirekte, aktivt og passivt) på jorda. Hva er opprinnelsen til denne energien og hvordan transporteres den til jorda?

Stikkord: fusjon av hydrogen til helium i solas indre. Massenergi $E=mc^2 \rightarrow$ kinetisk energi i produkter og nøytroner $\rightarrow$ varme i solas kjerne (flere hundre millioner K) $\rightarrow$ varm overflate (ca 5800K) $\rightarrow$ elektromagnetisk stråling (svart legeme stråling, $\lambda_{\max}=2898\text{nm}/5800\text{K}$).

- b) (10%) Skisser solspektret (dvs intensitet som funksjon av bølgelengde eller fotonenergi) slik det er

- i) utenfor jordas atmosfære og
- ii) ved jordas overflate

Skisser begge spektrene i samme figur, og forklar hva årsaken til forskjellen på de to er.

Se Fig 4.1. i boka.

Absorpsjonen i IR området skyldes drivhusgasser (H_2O , CH_4 etc) i atmosfæren og i UV-området skyldes i hovedsak ozon i stratosfæren (9% av solspektret absorberes på vei inn), i tillegg reflekterer og sprer skyer og partikler en del (særlig synlig) stråling ut i verdensrommet igjen (34% totalt), noe absorberes også i skyer (10%).

- c) (5%) Gi en tallverdi på innstrålt solenergi per sekund og kvadratmeter utenfor jordas atmosfære. Hva kalles denne? Hva er solinnstrålingen i gjennomsnitt (midlet over sted, årstid og klima/vær) redusert til ved jordas overflate?

$S=1370 \text{ W/m}^2$, solkonstanten. Ved jordas overflate er dette redusert til $1/4 \times 47\%$ (fra fig 4.2) dvs ca 164 W/m^2 .

- d) (15%) På hvilke måter kan solenergien utnyttes direkte? Lag gjerne skisser av oppsett/teknologier og oppgi (relative) konverteringseffektivitet(er).

Punkter som må være med:

1) aktiv/passiv oppvarming av vann (50% for fig 4.5)), boliger etc. tørking av korn, avsalting av vann. (Stikkord: maksimal solenergi inn, minimalt varmetap; vinduer som er transparente for korte bølgelengder, men ikke for lange/infrarøde $\rightarrow$ drivhuseffekt og redusert konveksjon, isolasjon. Vannvarmning: God varmeledning fra solfanger til transport/rør-system for vannvarmning. Må ha frostvæske i kalde strøk. Boligvarming: store vinduer mot sør. God isolasjon. Generell ulempe at aktive systemer i de fleste tilfeller trenger strøm. Varmelager med stor varmekapasitet (vann/stein/betong/tre).)

2) varme $\rightarrow$ elektrisitet (effektivitet på 25% for et system basert på renne-speil i USA) (Bruker sola som varmekilde i et vanlig varmekraftverk: sollys/varme ($\rightarrow$ damp) $\rightarrow$ turbin/mekanisk energi $\rightarrow$ generator/elektrisk energi. Bruker fokuserende elementer (speil/heliostater eller linser) for å forsterke sollyset og øke intensiteten og dermed øke

temperaturen. Viktig med høy temperatur for å få høy virkningsgrad. Carnot-grensa: $\eta_{\text{Carnot}} = 1 - T_c/T_h$. Ulempe at det trengs direkte sollys (for at fokuseringen skal fungere), og at man bør ha et mekanisk system for å følge solas gang over himmelen.

3) solceller (elmagnstråling $\rightarrow$ elektrisitet) (Typisk effektivitet 15%) (Stikkord: sollys absorberes og elektroner gis nok energi til å kunne "frigjøres" fra halvledermaterialet solcella er laget av. Det settes opp en spenning over solcella på grunn av lysabsorpsjonen. Denne spenningen vil kunne drive en strøm gjennom lasten solcella er koblet til. Solcella vil levere strøm så lenge sola skinner, dvs som et vanlig batteri. En enkelt solcelle gir liten spenning, så cellene må seriekobles så de kan gi stor nok spenning til å lade et 12V batteri.

- e) (10%) Forklar kort hvordan solenergi kan utnyttes indirekte, og hva de to-tre viktigste fordelene og ulempene med de ulike måtene er.

Noen stikkord:

	Fordeler	Ulemper
Bioenergi via fotosyntese	1. CO ₂ -nøytralt 2. Bruker avfall til noe fornuftig 3. Kan brukes i dagens biler 4. Stort potensial globalt	1. Konkurransen med matproduksjon 2. Påvirkning av natur (fare for avskoging, erosjon, spredning av genmodifiserte planter)
Vannkraft via fordamping av vann som samles opp i magasiner	1. Direkte konvertering til elektrisitet 2. Etablert teknologi (lav pris)	1. Innvirkning på natur (oppdemming, påvirkning av liv i elver etc) 2. Sesongvariasjon 3. Fare for ulykker
Vindkraft via temperaturforskjeller på jorda som får lufta til å flytte på seg	1. Direkte konvertering til elektrisitet 2. Modulært (lett utvidbart) 3. Stort potensial globalt	1. Ikke kontinuerlig $\rightarrow$ lagring/kombinasjon med andre kilder 2. Påvirkning av natur (estetikk/dyre-/fugleliv)
Bølge via vind som får vannet til å flytte på seg	1. Direkte konvertering til elektrisitet 2. Stor potensial globalt	1. Ikke kontinuerlig $\rightarrow$ lagring/kombinasjon 2. Lite utviklet
Havvarme via temperaturforskjell på havoverflata og i havdypet	1. Kontinuerlig	1. Lite utviklet 2. Lav virkningsgrad
Fossilt brensel via fotosyntese for flere hundre millioner år siden	1. Veletablert teknologi 2. Stort bruksområde 3. Relativt høy energitetthet 4. Kontinuerlig elektrisitetsskilde, så lenge det tilføres nytt brensel	1. Ikke fornybar 2. Emisjon av forurensning (CO, NO _x , SO ₂ , VOC, partikler) 3. Emisjon av drivhusgasser (CO ₂ , CH ₄)

OPPGAVE 2: KJERNEKRAFT

- a) (10%) Beskriv kort hvordan energi konverteres fra en form til en annen i et typisk kjernekraftverk. Ta med alle trinnene fra det som skjer med brensel til siste trinn som er elektrisitetsproduksjon.

Fisjon: 1) U-235 absorberer et nøytron og blir til U-236 som er ustabilt og spaltes spontant. (masseenergi $\rightarrow$ kinetisk energi (varme) i produktene, nøytronene og de radioaktive partiklene. 2) Denne kinetiske energien absorberes i kjølemediet for eksempel (trykksatt eller kokende) vann/tungtvann (kinetisk energi $\rightarrow$ varme) som 3) ekspanderes gjennom en turbin (varme $\rightarrow$ kinetisk energi) som 4) er koblet til en generator (kinetisk energi $\rightarrow$ elektrisk energi).

- b) (10%) Forklar hvordan man i et typisk kjernekraftverk med uran som brensel holder kjedereaksjonen gående. Hva gjør man for å hindre at den løper løpsk?
Stikkord: fisjonstverrsnitt $\rightarrow$ moderasjon (vann/grafitt), absorpsjon (i brensel uten etterfølgende fisjon, eller i materialet rundt reaktoren), unnsipping av nøytroner (endelig reaktor størrelse). Mål: "ett termisk nøytron ut for hvert termisk nøytron inn". For å hindre at prosessen løper løpsk: kontrollstaver f.eks av bor, som absorberer nøytroner. (Med ferskt brensel må stavene være langt inne, mens etter hvert som mengden U-235 avtar kan de trekkes lengre ut (i tillegg dannes Pu-239 som også spaltes, så det er ikke bare mengden U-235 som bestemmer hvor langt inn stavene skal stå.)
- c) (5%) Hva er "forsinkede nøytroner" (engelsk: "delayed neutrons")? Hvorfor er de viktige når det er snakk om kjernekraftsikkerhet?
I en fisjonsprosess spaltes den ustabile kjernen, og det dannes nye kjerner (kalt fisjonsprodukter) og det frigies nøytroner (og radioaktive partikler). I tillegg til disse nøytronene som frigjøres umiddelbart, kan det også frigis nøytroner fra desintegrasjon av fisjonsproduktene. Nøytronene fra fisjonsproduktene vil frigis opp til flere sekunder etter de første, og selv om de utgjør en veldig liten andel (ca 0,5%) av totalmengden nøytroner vil denne forsinkelsen være nok til at man får tid til å føre inn kontrollstavene dersom antall nøytroner holder på å komme ut av kontroll.

OPPGAVE 3: ENERGIFORSYNING OG ISOLASJON PÅ HYTTA

- a) (5%) Du installerer en liten vindturbin med en effektivitet på 50 % av den teoretiske grensa, på hytta di på Oppdal. Turbinen har en diameter på 1 m, som er en typisk størrelse på en vindturbin for "privat bruk".

Hvor stor effekt gir vindturbinen hvis vindhastigheten er 10m/s?

From the text book (p. 134) we have that the power P_{wind} (measured in kW) in the wind with speed v , per area A equals

$$\frac{P_{wind}}{A} = 6.1 \cdot 10^{-4} v^3$$

Our mill has a diameter $d=0,5m$ and an area of $A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 0,79m^2$, and an

efficiency of 60% of the theoretical maximum. The theoretical maximum is 59%, thus our wind turbine has an efficiency of $\eta = 0,5 \times 0,59 = 29,5\%$.

The electric power output from the turbine is $P_{el} = A \cdot 6,1 \cdot 10^{-4} v^3 \cdot \eta$ [kW]

For a wind speed of $v=10\text{m/s}$ the electric power output is

$$P_{el} = 0,79 \cdot 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot 10^3 \cdot 0,295 \text{ kW} = 0,141 \text{ kW} = 141 \text{ W}.$$

- b) (5%) Du bruker vindturbinen i a) til å varme 20 liter vann, dvs nok til at to personer kan dusje med sparedusj.

Hvor lang tid tar det å varme oppvannet fra 5°C til 70°C hvis det hele tiden blåser med en vindhastighet på 10m/s ? Anta en generatoreffektivitet på 90%. (Om du ikke fikk til å regne ut svaret i a) så anta at vindturbinen i gir en effekt på 100W , og om du ikke får til å regne ut hvor mye energi som kreves for å varme opp vannet, så anta at det trengs 2kWh .)

To calculate the time needed for the wind mill to operate to produce enough energy to raise the temperature of 20 l water 65°C , we first use the equation $\Delta E = \Delta Q = mc\Delta T$, to calculate the amount of energy required to heat the water, where m is the mass of the water, c the specific heat of the water and ΔT the temperature increase.

20 liters has a mass of $m=\rho v=1\text{kg/liter} \times 20 \text{ liter}=20\text{kg}$. The specific heat capacity is $c=4190 \text{ J/(K kg)}$, so that

$$\begin{aligned} \Delta E = mc\Delta T &= 20 \text{ kg} \times 4190 \text{ J/(K kg)} \times (70-5)\text{K} = 5,4 \text{ MJ} \\ &= 5,4 \times 10^6 / 3600 / 1000 \text{ kWh} = 1,5 \text{ kWh}. \end{aligned}$$

Thus the time needed to heat 20 liters of water 65°C , with generator efficiency of 90%, equals:

$$\Delta t = \Delta E / \Delta P = 1,5 \text{ kWh} / (0,141 \times 0,9) \text{ kW} = 11,9 \text{ h}.$$

- c) (2,5%) De dagene det er vindstille og fint vær kan du varme opp vannet i en solfanger med et areal på 1m^2 og 50 % effektivitet.

Hvor lang tid tar det å varme opp 20 liter vann fra 5°C til 70°C dersom solinnstrålingen er på 200 W/m^2 i snitt de timene sola er oppe en sommerdag?

Solfangereffekt:

$$\Delta P = \eta A G = 50\% \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot 200 \text{ W/m}^2 = 100 \text{ W}$$

$$\Delta t = \Delta E / \Delta P = 1,5 \text{ kWh} / 100 \text{ W} = 15,1 \text{ h}.$$

Sammenlign med hvor lang tid det tok med vindturbinen og kommenter.

Det tar like ca lang tid med vindturbinen og med solfangeren. (Om arealet på solfangeren hadde vært større ville det tatt kortere tid med solfangeren. 1m^2 er svært lite.) Det er bare om sommeren dagene er lange nok til å kunne varme opp vannet med 1m^2 solfanger. For resten av året vil vindturbinen være en sikrere energikilde.

- d) (2,5%) Alternativt kan du varme vannet på en vedfyrt ovn. Anta 65% effektivitet, at veden har et energiinnhold (brennverdi) på 12 MJ/liter og at du fyrer med 1 liter ved i timen.

Hvor lang tid tar det nå å varme opp 20 liter vann fra 5°C til 70°C?

Effekt: $P = 65\% \times 12 \text{ MJ} \times 1 / 3600 \text{ s} = 2,17 \text{ kW}$

Tidsbruk: $\Delta t = \Delta E / \Delta P = 1,5 \text{ kWh} / 2,17 \text{ kW} = 0,70 \text{ h} = 42 \text{ min.}$

Sammenlign med hvor lang tid det tok med vindturbinen og solfangeren, og kommenter.

Å varme opp vann med vedfyring er veldig effektivt og viser at "energitettheten" i biomasse er større enn for vind og sol. For å få like rask oppvarming av vannet med solfangeren måtte arealet vært på $A = \Delta E / \Delta t / (\eta G) = 1,5 \text{ kWh} / 0,70 \text{ h} / (50\% 200 \text{ W/m}^2) = 21,7 \text{ m}^2$.

Er 12 MJ/liter et realistisk energiinnhold for ved? Er dette mer eller mindre enn energiinnholdet i fossilt brensel?

Ja, 12 MJ/liter et realistisk energiinnhold for ved, og det er mindre enn i fossilt brensel (bensin: 34 MJ/liter, diesel 38 MJ/liter.)

- e) (5%) Hytta har grunnflate på 8 x 4 m², flatt tak og vegghøyde på 2,5m. Isolasjonen består av 20 cm mineralull i gulv, tak og vegger. Vegger, tak og gulv har dessuten 5 cm treverk (furu) på begge sider av mineralullen og et stillestående luftlag på 3mm på innerveggen og 1mm på ytterveggen.

Finn U-verdi for tak, gulv og vegger. Er det ønskelig med lav eller høy U-verdi?

For å finne U-verdien regner vi først ut varmemotstanden R. Siden vegger, tak og gulv er konstruert likt, har vi

$$\begin{aligned} R &= R_{\text{floor}} = R_{\text{roof}} = R_{\text{wall}} \\ &= R_{\text{air in}} + 2R_{\text{pine}} + R_{20 \text{ cm mineral wool}} + R_{\text{air out}} \\ &= \left(\frac{0,003}{0,026} + 2 \frac{0,05}{0,14} + \frac{0,20}{0,035} + \frac{0,001}{0,026} \right) \frac{\text{Km}^2}{\text{W}} \\ &= 6,6 \frac{\text{Km}^2}{\text{W}} \end{aligned}$$

U-verdien finnes som den inverse av varmemotstanden:

$$U = \frac{1}{R} = 0,15 \text{ W/m}^2 \text{K}.$$

Det er ønskelig med en så lav U-verdi som mulig for å ha så lite varmetap som mulig.

- f) (5%) Hytta har i tillegg 2m² sydvendte vinduer med dobbelt isolerglass med U-verdi på 1,2 W/(m² K). Graddagstallet for fyringssesongen er 5500 (day K).

Beregn varmetap (og dermed oppvarmingsbehovet) gjennom vegger, tak og vinduer i løpet av fyringssesongen.

Varmetapet i fyring sesongen er gitt ved

$$Q = A \cdot U \cdot G \cdot h_{\text{day}}$$

hvor h_{day} er antall timer i et døgn, dvs 24.

Totalt varmetap blir da

$$\begin{aligned} \underline{\underline{Q_{\text{tot}}}} &= \left[(A_{\text{walls}} + A_{\text{roof}} + A_{\text{floor}} - A_{\text{window}}) \cdot U + A_{\text{window}} \cdot U_{\text{window}} \right] \cdot G \cdot h_{\text{day}} \\ &= \left[122\text{m}^2 \cdot 0,15\text{W}/(\text{Km}^2) + 2\text{m}^2 \cdot 1,2\text{W}/(\text{Km}^2) \right] \cdot 5500(\text{day} \cdot \text{K}) \cdot 24(\text{h/day}) \\ &= [20,9\text{W/K}] \cdot 132000\text{Kh} = 2,76 \cdot 10^6\text{Wh} = \underline{\underline{2\,760\text{ kWh}}} \end{aligned}$$