



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Manual til laboratorieøvelse

# Solfanger



Foto: Stefan Tiesen,  
Flickr.com

# Teori

---

## Energi og arbeid

Arbeid er et mål på bruk av krefter og har symbolet  $W$ . Energi er et mål på lagret arbeid – det vil si at energi kan omsettes til arbeid, altså til bruk av krefter. Energi har symbolet  $E$ . Enheten for arbeid og for energi er J (joule), men vi bruker også ofte den gammeldagse enheten Wh (watt-timer). For å gjøre forvirringen total er det vanlig å bruke symbolet  $Q$  når energien er varme. Varme er "Energitransport som skyldes en temperaturgradient."  $Q$  har de samme enhetene som energi og arbeid, dvs. J eller Wh.

Vi bruker ofte begrepene arbeid og energi litt om hverandre siden de er så nært beslektet. Her i denne laboratoriemanualen vil vi ofte bruke "energi" også der vi strengt tatt snakker om "arbeid". Noen vanlige former for energi er

- kjemisk energi (for eksempel bensin, rapsolje, dynamitt, mat)
- kinetisk energi (bevegelsesenergi, for eksempel i vind)
- potensiell energi (stillingsenergi, for eksempel i vannbassenger i fjellet)
- elektrisk energi (strøm/spenning, for eksempel fra en generator)
- elektromagnetisk energi (for eksempel lys fra sola eller varmestråling fra en vedovn)
- termisk energi (varmeenergi, for eksempel i varmtvann).

Ofte snakker vi også om mekanisk energi. Det er et samleuttrykk for kinetisk energi og potensiell energi.

Vi sier ofte at vi "produserer" eller "bruker" energi. Det er ikke bokstavelig talt riktig siden vi vet at energi ikke kan oppstå eller forsvinne, den kan bare skifte form. Når vi sier at et vannkraftverk *produserer* 1 kWh elektrisk energi mener vi egentlig at kinetisk energi (fra vannet) omformes til 1 kWh elektrisk energi. Når vi sier at vi *bruker* 1 kWh elektrisk energi til oppvarming mener vi egentlig at elektrisk energi omformes til 1 kWh termisk energi.

Når det gjelder energiforsyningen i samfunnet, bruker vi også energienhetene med det vi kaller prefikser, for eksempel k (kilo = tusen), M (mega = million), G (giga = milliard), T (terra = tusen milliarder) og P (peta = million milliarder). Sammenhengen er:

$$1 \text{ Wh (wattimer)} = 3,6 \text{ kJ (kilojoule)}$$

$$1 \text{ kWh (kilowattimer)} = 3,6 \text{ MJ (megajoule)}$$

$$1 \text{ GWh (gigawattimer)} = 3,6 \text{ TJ (terrajoule)}$$

$$1 \text{ TWh terrrawattimer} = 3,6 \text{ PJ (petajoule)}$$

### Eksempel 1

En norsk elev trenger ca 10 MJ energi per dag (bioenergi = mat). Vi ser fra tabellen at det er litt mindre enn 3 kWh. ( $3 \text{ kWh} = 3 \cdot 3,6 \text{ MJ} = 10,8 \text{ MJ}$ )

## Effekt

Effekt har symbolet  $P$  og er et mål for hvor fort arbeid utføres eller hvor fort energi skifter fra en form til en annen. Det vil si at vi finner effekten når vi dividerer arbeidet på den tiden arbeidet tar, eller dividerer energien på den tiden omformingen pågår. For energi kan vi formulere det slik:

$$\text{effekt} = \text{energi} / \text{tid} \quad (P = W/t) \quad (1)$$

Enheten for effekt er W (watt). Vi bruker også ofte kW (kilowatt) og MW (megawatt).

NB: Her er det dessverre lett å blande sammen  $W$  som er enheten for effekt med  $W$  som er symbolet for arbeid. Pass alltid på at du vet hvilken  $W$  du bruker.

### Eksempel 2

For skoleeleven finner vi effekten fra den kjemiske energien hun spiser slik:

$$\begin{aligned} P &= \frac{W}{t} \\ &= \frac{10 \text{ MJ}}{1 \text{ døgn}} \\ &= \frac{10 \text{ millioner J}}{1 \text{ døgn} \cdot 24 \text{ h/døgn} \cdot 3600 \text{ s/h}} \\ &= 116 \text{ W} \end{aligned}$$

Merk at tid, som har symbolet  $t$ , har enheten sekund (s). Hvis vi bruker h (timer) som enhet for tid må vi huske at

$$h = 3600 \text{ s}$$

Vi ser at sammenhengen (1) mellom effekt og energi også kan formuleres slik:

$$\text{energi} = \text{effekt} \cdot \text{tid} \quad (W = Pt) \quad (2)$$

### Eksempel 3

En solfanger som tilføres effekten 50 kW (fra sola) i en time bruker energien:

$$\begin{aligned} W &= Pt \\ &= 50 \text{ kW} \cdot 1 \text{ time} \\ &= 50 \cdot 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} \\ &= 180\,000\,000 \text{ J} = 180 \text{ MJ} \end{aligned}$$

180 MJ kan vi regne om til kWh slik:

$$180 \text{ MJ} = \frac{180}{3,6} \text{ kWh} = 50 \text{ kWh}$$

## Virkningsgrad

Virkningsgrad er et mål for hvor mye energi eller effekt som vi kan bruke, i forhold til hvor mye vi energi eller effekt vi putter inn. Det kan for eksempel være hvor mye varmeenergi vi får ut av en solfanger i forhold til hvor mye solenergi som stråler inn på solfangeren.

$$\text{virkningsgrad} = \frac{\text{nyttig energi eller effekt}}{\text{tilført energi eller effekt}} \quad (3)$$

### Eksempel 4

La oss si at solfangeren i eksempel 3, som tilføres effekten 50 kW, leverer ut en effekt i form av varmtvann som er 45 kW.

Da blir virkningsgraden til solfangeren:

$$\begin{aligned} \text{virkningsgrad} &= \frac{\text{nyttig effekt}}{\text{tilført effekt}} \\ &= \frac{45 \text{ kW}}{50 \text{ kW}} = 0,9 \\ &= 90\% \end{aligned}$$

## Varmekapasitet

Varmekapasitet er et mål på hvor mye energi/varme som skal til for å varme opp et stoff. Som regel snakker vi om *spesifikk varmekapasitet*, det vil si hvor mye energi/varme som skal til for å varme opp 1 kg av et stoff 1 °C. Symbolet for spesifikk varmekapasitet er *c*. Enheten er J/(kg°C).

Spesifikk varmekapasitet for vann er 4180 J per kilo og per °C. Det skal altså til 4,18 kJ varme for å varme opp 1 kg vann 1 °C. Det kan vi også skrive slik:

$$c_{\text{vann}} = 4,18 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$$

### Eksempel 5

I en varmtvannsbereder skal 200 liter vann varmes opp fra 10 °C til 60 °C. Vi har altså 200 kg vann (tettheten til vann er 1000 kg/m<sup>3</sup>) som skal varmes opp 50 °C.

Energien som da må tilføres er:

$$4,18 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C}) \cdot 200 \text{ kg} \cdot 50 \text{ }^\circ\text{C} = 41800 \text{ kJ} = 41,8 \text{ MJ}$$

Omregnet til kWh blir det:

$$41,8 \text{ MJ} = (41,8 / 3,6) \text{ kWh} = 11,6 \text{ kWh}$$

Merk at når vannet avkjøles igjen avgir det nøyaktig den samme energien som skulle til for å varme det opp. Det betyr at vannet som ble varmet opp i varmtvannsberederen kan avgi den termiske energien sin i en radiator slik at et rom blir varmet opp.

Når vi skal beregne energien  $E$  som trengs for å varme opp vann (eller energien som avgis når vann avkjøles) kan vi bruke denne formelen:

energien = spesifikk varmekapasitet · masse · temperaturendring

$$E = c_{vann} m \Delta T \quad (4)$$

der  $c_{vann}$  er den spesifikke varmekapasiteten til vann,  $m$  er massen til vannet og  $\Delta T$  er temperaturendringen.

### Eksempel 6

Gjennom en radiator i et oppholdsrom strømmer 5 dl vann per minutt. Temperaturen til vannet er 65 °C når det kommer inn i radiatoren og 40 °C når det forlater radiatoren. Varmen som radiatoren leverer til rommet på 1 time finner vi slik:

5 dl vann tilsvarer 0,5 kg vann. 0,5 kg per minutt i 60 minutter utgjør massen:

$$m = 0,5 \text{ kg} \cdot 60 = 30 \text{ kg}$$

Temperaturendringen er:

$$\Delta T = 65 \text{ °C} - 40 \text{ °C} = 25 \text{ °C}$$

Vi får da fra (3):

$$\begin{aligned} Q &= cm\Delta T \\ &= 4,18 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C}) \cdot 30 \text{ kg} \cdot 25 \text{ °C} = 3135 \text{ kJ} = 3,1 \text{ MJ} \end{aligned}$$

I kWh blir det:

$$3,1 \text{ MJ} = (3,1 / 3,6) \text{ kWh} = 0,87 \text{ kWh}$$

Vi kan også finne effekten radiatoren leverer i løpet av tiden  $t = 1 \text{ time} = 3600 \text{ s}$  fra (1):

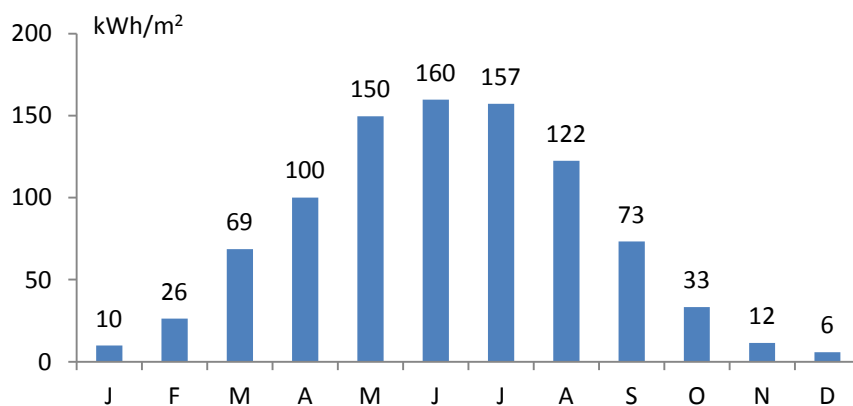
$$\begin{aligned} P &= \frac{W}{t} \\ &= \frac{3,1 \text{ MJ}}{3600 \text{ s}} \\ P &= 0,87 \text{ kW} \end{aligned}$$

## Solenergiressurser

Effekten i solstrålingen treffer jordens atmosfære er  $1,4 \text{ kW/m}^2$ . Om lag 30 % av dette blir reflektert tilbake i rommet. Siden jorden roterer om sin egen akse treffer solenergien bare jordens dagside. Men i gjennomsnitt over døgnet mottar jordoverflaten  $240 \text{ W/m}^2$  fra solen – noe mer ved ekvator og noe mindre ved polene.

Figur 1 viser hvor mye solenergi Ås mottar i løpet årets måneder, mens figur 2 viser forskjellen i solinnstråling nord og sør i Norge, og mellom sommer og vinter. Merk at figur 1 viser solinnstråling per måned, mens figur 2 oppgir for en gjennomsnittlig sommer- og vinterdag.

### Innstrålt solenergi på Ås over året

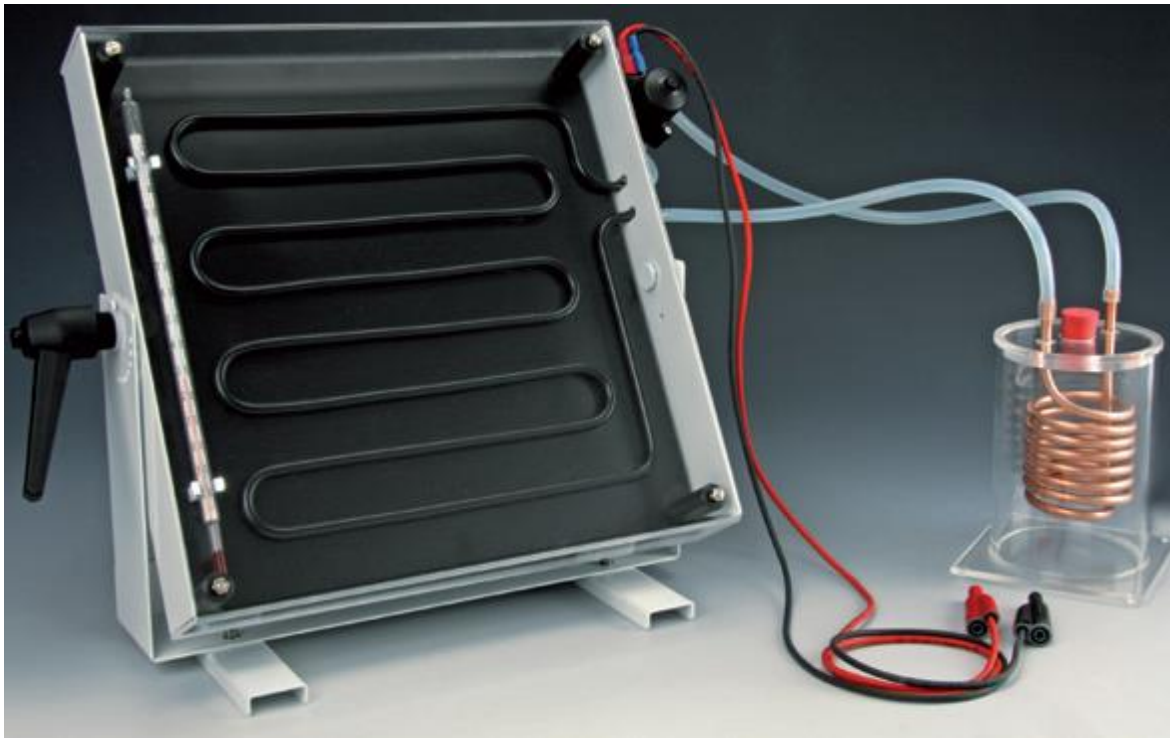


Figur 1: Solinnstråling på Ås



Figur 2: Solinnstråling i Norge  
Kilde: Enova.no

## Solfangermodellen



Figur 3: Solfangermodell fra Frederiksen

Solfangermodellen er et enkelt men allikevel komplett solfangeranlegg produsert av danske Frederiksen og levert av KPTkomet. Modellen består av en plan solfanger, sirkulasjonspumpe og et varmelager.

### Spesifikasjoner:

Absorberstørrelse:	29,0 cm x 29,4 cm
Varmekapasitet av absorber og kobberør:	410 J/K
Vannpumpe:	0 – 12 V likespenning, brukes typisk med spenninger under 4 V.
Varmelager	
Materiale	Akryl / pleksiglass
Veggtykkelse	3 mm
Tykkelse av bunn	4 mm
Innvendig diameter av tanken	94 mm
Varmekapasitet kopperspiral	83 J/K

Solfangeren brukes med sola eller en kraftig lampe som varmekilde.

Solfangeren har et termometer som viser lufttemperaturen bak glasset. I tillegg brukes et termometer for å måle vanntemperaturen i varmelageret.

# Fremgangsmåte

---

Dere skal gjøre et lite forsøk med solfangermodellen. Om det er sol og varmt vær ute kan dere bruke solen som varmekilde, hvis ikke brukes en kraftig lampe som varmekilde.

1. Fyll vann i varmelageret. Massen til vannet i varmelageret noteres i måleskjemaet på siste side.
2. Tenk igjennom hvordan slangene fra solfangeren skal kobles til varmelageret. Spiller det noen rolle hvordan de kobles?
3. Få hjelp av laboratorieveileder til å fylle solfangeren, slangene og kopperspiralen med vann.
4. Varmelageret settes på en magnetrører og temperaturføleren til termometeret legges i varmelageret.
5. Rett solfangeren mot sola eller sett opp en kraftig lampe som varmekilde dersom det ikke er sol.
6. Start pumpa og noter temperaturen i solfangeren og i varmelageret.
7. Fortsett med målinger hvert 2. minutt i 20 minutter.
8. Underveis i målingene gjøres 2 – 3 målinger av strålingsintensiteten ved hjelp av sollysmåleren.
9. Begynn gjerne med beregningene mens du venter på å gjøre nye målinger.
10. Etter 20 minutter gjør dere beregningene på neste side
11. Avslutt med å sjekke temperaturer i solfanger og varmelager før dere avslutter.

Om dere blir ferdige med beregningene før tiden er ute bruker dere resten av tiden på å gjøre dere kjent med solfangeranleggene på energilaboratoriet.



# Forhåndsoppgaver

---

1. Bruk figur 1 til å finne svar på følgende:
  - a) Hvor mye solenergi mottar en kvadratmeter på Ås i løpet av et vanlig år?
  - b) Hvor mye solenergi mottar en kvadratmeter på Ås i løpet av en vanlig dag i den måneden vi er i nå?
2. I et forsøk sendes 25 grader varmt vann gjennom solfangeren, og kommer ut igjen med en temperatur på 40 grader. Det strømmer 0,1 l/s vann gjennom solfangeren. Hvilken effekt mottar vannet fra sola?
3. Solfangeren har et areal  $8 \text{ m}^2$ , og øker temperaturen i et 500 l varmelager fra 20 til 30 grader på 1 time.
  - a) Hvor mye energi er tilført varmelageret? Oppgi svaret i MJ og kWh.
  - b) Hva er den gjennomsnittlige effekten?
  - c) Anta en solinnstråling på  $1000 \text{ W/m}^2$ . Hva er virkningsgraden til anlegget?
  - d) Bruk svaret fra oppgave 2 til å finne effekttapet fra vannet forlater solfangeren til det når varmelageret. Hva kan dette tapet skyldes?

# Beregninger

---

1. For hver måling beregnes:
  - a) Energi tilført vannet i varmelageret siden forrige måling.
  - b) Gjennomsnittlig effekt for oppvarmingen av vannet i varmelageret siden forrige måling.
2. Hvor mye energi har vannet mottatt totalt i løpet av disse 20 minuttene?
3. Hvor mye varmeenergi har solfangeren mottatt totalt?
4. Hva er virkningsgraden til denne solfangeren?

