

# Kapitel 1 - Energi och elektromagnetiska vågor

## Energi, kraft och arbete



**Figur 1.1**

Ljus förvandlas till elektrisk energi med solpaneler

I solceller omvandlas ljus till elektrisk energi. Alla elektriska fenomen är energiflöden. Det är energi som förflyttas genom våra elektriska ledningar till mobilladdaren, tvättmaskinen och kylskåpet. Elektrisk energi kan även vara bärare av information i t.ex. surfplattans kretsar, radioutsändningar och nätverkskablen.

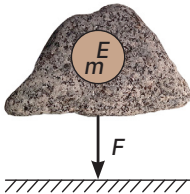
I det här kapitlet får du lära dig vad energi är, om energiomvandling och energitransport. Speciellt handlar det om elektrisk energi och elektromagnetiska vågor. Några viktiga begrepp i det här kapitlet är kraft och effekt.

### Vad är kraft?

Det är viktigt att skilja på begreppen kraft ( $F$ ) och energi ( $E$ ).

Energin är en förutsättning för men leder inte automatiskt till rörelse. Det som orsakar en rörelseändring är det vi kallar kraft. En kraft är en påverkan mellan kroppar (objekt).

En sten som faller till marken påverkas av tyngdkraften (gravitationen).



**Figur 1.2**

En fallande sten påverkas av tyngdkraften

### Vad är energi?

Energi innebär rörelse eller förmåga till rörelse. Allt som rör sig eller kan få något att röra sig, bär på energi. En människa som utför ett arbete är laddad med energi. Energin från ett batteri kan sätta strömmen i rörelse och där igenom få en motor att sättas i rörelse. Ett annat exempel är en radiosändare som drivs med ett batteri och skickar ut energi genom en radiovåg.



**Figur 1.3**

Rörelseenergi ökar med farten

Kraft betecknas med bokstaven  $F$  och mäts i enheten newton (N).

Kraft har såväl storlek som riktning och kallas vektorstorhet. Det är vanligt att enhetsbokstaven för vektorer har fet stil. Energi har endast storlek och kallas för skalär storhet.

### Vad är arbete?

Arbete betecknas med bokstaven  $W$  (från engelskans work). Arbete definieras som kraften ( $F$ ) multiplicerat sträckan ( $s$ ).  $W = F \cdot s$ . Enheten för arbete är Nm (newtonmeter). Snart kommer vi att se den nära koppling till energibegreppet.

En bil som accelereras får mer energi "med sig". Den har olika energitillstånd beroende på sin hastighet. Detta gäller alla objekt, från minsta partikel till hela planeter och solsystem.

Energi kan ackumuleras, till exempel som värmeenergi i en ackumulatortank, som rörelseenergi i ett svänghjul eller som elektrisk energi i ett batteri. Energi kan även omvandlas. För att energi ska uppstå behövs arbete tillföras.

### Beteckningen på energi

Energi betecknas med bokstaven  $E$ . När en kraft ( $F$ ) utför ett arbete ( $W$ ) på ett föremål, ökar dess energi ( $E$ ) lika mycket som arbetets ( $W$ ) storlek. Förändringen av ett föremåls energi före och efter ( $\Delta E$ ) utfört arbetet ( $W$ ), är definitionen av energi.  $\Delta E = W$ . Enheten för energi är joule (J).  $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$ .

### Massa är en form av energi

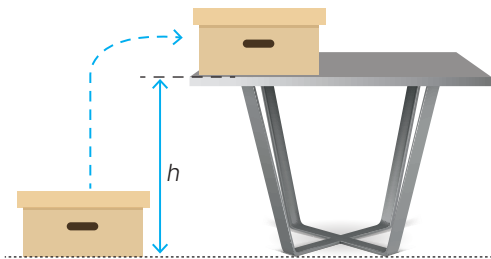
Einstein visade genom energiformel  $E = mc^2$  (där  $m$  är massa och  $c$  ljusets hastighet) att massa är en form av energi. Omvandling av massa till energi sker i kärnreaktorer, kärnvapen och inte minst i solen där fyra miljoner ton massa försvinner varje sekund.

### Fyra viktiga energibegrepp

Det finns fyra slags energi, eller energibegrepp, som ständigt återkommer i såväl fysiken som elläran: arbete, lägesenergi, rörelseenergi och värme.

#### 1 - Arbete (mekaniskt arbete)

Arbete eller mekaniskt arbete är samma som energi. För att lyfta en box med böcker, från golv till bord krävs energi. Arbetet att lyfta upp boxen högre upp ( $h$ ), motsvarar den mängd energi som krävs.



Figur 1.4

Mekaniskt arbete = Energi

Mekaniskt arbete kan också ge elektrisk energi, t.ex. med hjälp av en generator. I nästa kapitel får du se hur elektrisk spänning uppstår genom just arbete.

#### 2 - Lägesenergi (potentiell energi)

Genom arbetet att lyfta upp boxen på bordet överförs energi från personen som lyfter, till boxen. Boxen tillförs alltså energi. På bordet har boxen därför högre energi, lägesenergi, jämfört

med när den låg på golvet. Ett annat ord för lägesenergi är potentiell energi. Mängden potentiell energi hos ett objekt är alltid relativ (i förhållande till något annat läge). Objektets lägesenergi behöver inte handla om ett föremål, utan kan vara den minsta partikels läge i förhållande till en annan partikel.

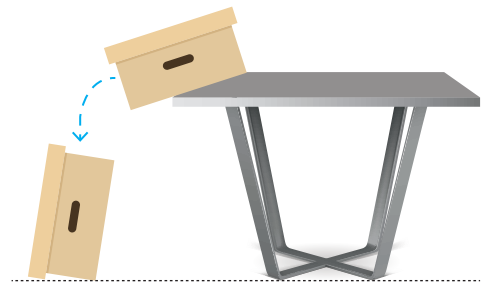
Boxen har en bestämd mängd potentiell energi i förhållande till golvet, men en helt annan i förhållande till källarplanet. Du kommer att upptäcka att elektrisk spänning har en mycket nära koppling till just lägesenergi.

#### Lägesenergi och kraft

Om en kraft skall övervinnas måste energi tillföras. Lägesenergi skapas genom att en kraft övervinnas längs en viss sträcka dvs.  $E_p = F \cdot s$  där ( $E_p$ ) är potentiell energi, ( $F$ ) är kraften och ( $s$ ) är sträckan. I fallet med boxen är det höjdskillnaden ( $h$ ) som motsvarar sträckan. Även när man skapar en elektrisk spänning är det en kraft som måste övervinnas.

#### 3 - Rörelseenergi (kinetisk energi)

Rörelseenergi kallas också för kinetisk energi. Om boxen ramlar ner från bordet försvinner dess lägesenergi på vägen ner. På golvnivå har den tillförda lägesenergin försvunnit.



Figur 1.5

Rörelseenergi = Kinetisk energi

Anledningen är att energin på nedvägen omvandlas till rörelseenergi i samma takt som lägesenergin reduceras. Den är som störst när boxen träffar golvet.

## Kapitel 1 - Energi och elektromagnetiska vågor

### Rörelseenergi och hastighet

Rörelseenergi tillförs genom att en massa accelereras till en bestämd hastighet och ger då massan rörelseenergin:

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

där ( $E_K$ ) är kinetisk energi, ( $m$ ) är massa och ( $v$ ) är den aktuella hastigheten.

Kinetisk energi och potentiell energi är de två grundtyper av energi till vilka alla former av energi kan hänföras. För att markera typ av energi används ibland index, exempelvis  $E_P$  för potentiell energi (lägesenergi) och  $E_K$  för kinetisk energi (rörelseenergi). Vi kommer att hitta båda dessa energiformer i den elektriska kretsen.

### 4 - Värmeenergi

Värme är kanske vår tydligaste upplevelse av energi. Värme är energi som överförs från ett objekt med hög temperatur till ett med lägre temperatur.



**Figur 1.6**

Den överförda energin blir till värme

Temperatur är ett mått på en kropps genomsnittliga inre rörelseenergi. När en kropp tillförs värmeenergi ökar atomernas och molekylernas rörelseenergi, dvs. temperaturen.

### Värmeöverföring kan ske på tre olika sätt

**Genom ledning:** Ledning är en process där värmeöverföring sker genom en kropp eller mellan två kroppar som befinner sig i kontakt med varandra. Metaller är exempel på material som har hög värmeledningsförmåga.

**Genom konvektion:** Det är en process där värmeöverföring sker genom rörelse av en vätska eller gas. När en del av en vätska eller gas värms upp, stiger den varma delen uppåt och ersätts av kallare delar som sjunker nedåt. Denna rörelse av vätskan eller gasen skapar en cirkulation som överför värme från en plats till en annan.

**Genom strålning:** Det är en process som sker genom elektromagnetiska vågor, som exempelvis ljus eller infraröd strålning. När en kropp är varmare än dess omgivning, sänder den ut elektromagnetiska vågor som innehåller energi. När dessa vågor träffar en annan kropp absorberas energin och kroppen värms upp.

### Bra att kunna om kraft

Läs mer i fördjupningen i slutet av kapitlet...

## Enheter för energi

Efter som att det finns många olika former av energi, finns det även olika enheter.

### I vardagen

Använder vi enheten "kalorier" när vi pratar om energi. Människan måste tillföras energi för att hålla igång kroppens funktioner och att kunna utföra arbete. Energiinnehållet i mat och i våra aktiviteter mäts ofta i kilokalorier (kcal). Det gäller att  $1 \text{ kcal} = 1000 \text{ kalorier (cal)}$ . Kalorier är en gammal enhet för energi. En kalori motsvarar ungefär den energi som går åt för att värma 1 gram vatten 1 grad.

### I fysiken och elektroniken

Formeln för lägesenergi (potentiell energi)

$E_p = F \cdot s$  ger enheten newtonmeter (Nm) som enhet för energi. Även om enheten Nm fortfarande används inom fysiken, ersätts den idag ofta av enheten joule (J). I ellära och elektroniken används enheten wattsekund (Ws).

Här är alltså tre enheter Nm, J och Ws för samma storhet. Detta är inget problem eftersom:

$$1 \text{ Nm (newtonmeter)} = 1 \text{ J (joule)} = 1 \text{ Ws (wattsekund)}$$

För enheten kalorier är det dock lite krångligare. Det gäller att  $1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal} = 4184 \text{ J} = 4184 \text{ Ws}$  (wattsekund). Denna omvandling används inte så ofta. I den här boken kommer vi i första hand att använda Ws som enhet för energi.

### Kilowattimmar, kWh

Ibland är Ws en opraktiskt liten enhet. När vi till exempel köper energi från elleverantören betalar vi ett pris per kilowattimme.  $1 \text{ kWh}$  är  $1000 \text{ Wh}$ . Eftersom  $1 \text{ timme} = 3600 \text{ sekunder}$  blir  $1 \text{ kWh} = 1000 \cdot 3600 = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ws}$ .

### På atomens nivå - elektronvolt, eV

Även i materiens innersta, i atomernas värld, spelar energibegreppet en central roll. Den energienhet som används här är elektronvolt (eV).

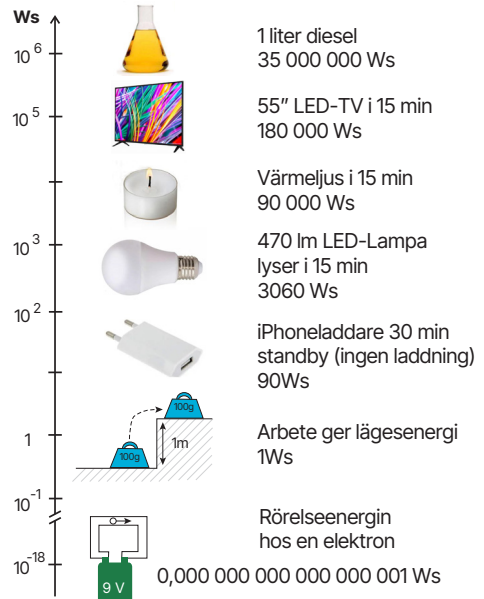
$$1 \text{ eV} = 1,60210 \cdot 10^{-19} \text{ joule (eller Ws)}$$

### Hur mycket är en Ws?

Genom vardagliga upplevelser får man en uppfattning om vad olika mått (enheter) representerar. Man upplever skillnaden mellan  $90 \text{ km/tim}$  och  $30 \text{ km/tim}$ . Man vet ungefär hur varmt  $37^\circ\text{C}$  är och man vet att  $230 \text{ V}$  är en farlig spänning i jämförelse med  $9 \text{ V}$  osv. För frisksportaren är några kilokalorier ofta mycket konkret. Men hur är det med energier i allmänhet och hur mycket är  $1 \text{ Ws}$  i verkligheten?

Om du studerar skalan kan du jämföra energimängden  $1 \text{ Ws}$  med en del andra energinivåer runt omkring oss.

Som framgår är  $1 \text{ Ws}$  en ganska liten enhet. Det är ungefär den energi som förbrukas för att skriva tre bokstäver på datorns tangentbord. Jämför med människans normala dagliga energiintag genom mat som ligger runt  $8\text{-}10$  miljoner Ws ( $2000\text{-}2500 \text{ kcal}$ ).



## Den elektromagnetiska vågen

**Figur 1.7**

Elektromagnetisk strålning laddad med energipaket, fotoner

### Solljuset - vår viktigaste energikälla

I ljuset överförs energi genom elektromagnetiska vågor som vi också benämner elektromagnetisk strålning. Det är samma slags vågor som i röntgenstrålning, värmestrålning och radiovågor. Men den elektromagnetiska vågen spelar dessutom en avgörande roll för alla elektriska fenomen, i alla elektriska apparater. Detta kommer att framgå efterhand, här är några exempel:

- I solceller omvandlas den elektromagnetiska strålningen till elektrisk energi.
- I den elektriska kretsen avgår värme som är just elektromagnetisk strålning.
- I en rörelsedetektor (pyroelektrisk detektor) omvandlas en "värmevåg" till en svag elektrisk signal.
- Radiovågor som skapas och tas emot i våra mobiltelefoner, WiFi-router, etc. är elektromagnetiska vågor.
- De osynliga IR-vågorna mellan fjärrkontrollen och TV:n är också elektromagnetiska vågor.

### Den snabba energibäraren

Den elektromagnetiska vågen kommer att behandlas närmare i kapitel 9. Nu skall vi bara lägga märke till två av detta fenomenets viktigaste egenskaper: energiinnehåll och utbredningshastighet.

### Den elektromagnetiska vågen är en energivåg

Genom den elektromagnetiska vågen överförs energin med små energipaket som vi kallar kvanta eller fotoner, se **figur 1.7**. Detta gäller inte bara det synliga ljuset, utan all elektromagnetisk strålning som t.ex. ultraviolett och infrarött ljus,

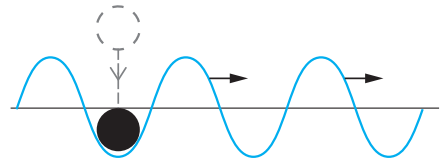
röntgenstrålning, radiovågor och värmestrålning. Till sin natur är all elektromagnetisk strålning av samma slag, den är uppbyggd av fotoner. Det som skiljer mellan olika typer av strålning är fotonernas energiinnehåll. Röntgenstrålning är till exempel betydligt mer energirik än synligt ljus. Förmågan att bära med sig energi gäller alltså inte bara solljuset utan den elektromagnetiska vågen i allmänhet.



**Figur 1.8**  
Vågutbredning

### Utbredningshastighet

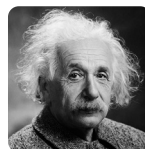
En annan viktig egenskap hos den elektromagnetiska vågen är dess utbredningshastighet. För att förstå begreppet utbredningshastighet kan du jämföra med vad som händer om man kastar en sten i vatten. Resultatet blir en våg som utbreder sig med en bestämd hastighet.



**Figur 1.9**  
Vågutbredningshastighet

Den elektromagnetiska vågens utbredning sker med ljusets hastighet som är ungefär 300 000 km/sek ( $3 \cdot 10^8$  m/s). Ljushastigheten brukar betecknas med bokstaven (*c*).

$$\begin{aligned} \text{Ljusets hastighet } (c) &\approx \\ 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} &= 300\,000\,000 \text{ m/s} = \\ &300\,000 \text{ km/sek} \end{aligned}$$



Einstein betraktade ljus som både en våg och en ström av partiklar (fotoner). Det är en modell som fungerar även idag.

# Energiomvandling

Energiprincipen, även känd som lagen om energins bevarande

## Energiprincipen

Energiprincipen, även känd som lagen om energins bevarande. Det är en fysikalisk lag som är empiriskt grundad och utgör den första huvudsatsen inom termodynamiken. Lagen fastslår att energi inte kan skapas eller förstöras, endast omvandlas till andra former av energi.

**Energi kan inte förstöras,  
bara byta form**

Energiprincipen är praktisk att ha i tankarna när man analyserar energiflöden, inte minst i elektriska kretsar.

Kvaliteten på energin förändras vid en energiomvandling, i princip alltid från högre till lägre kvalitet (mer eller mindre användbar).

När vi "förbrukar" energin menar vi i allmänhet att energin förloras i form av värme eller annan lågkvalitativ strålning. Elektriska apparater är ofta bra exempel på denna oönskade typ av energiomvandling.

## Energiomvandling i elektriska kretsar

I en elektrisk krets, i ledningar och på mönsterkortet, pågår ständigt energiomvandlingar. Här är några exempel:



### Lödkolven

I ett elektriskt värmeelement. Hos en lödkolv sker en, i det närmaste 100% omvandling, av elektrisk energi till annat önskat energislåg (värme).



### Moderkortet

På datorns moderkort måste förlustenergi (värme) kunna avledas med hjälp av fläktar och kylflänsar.

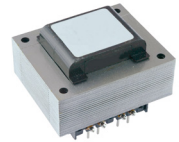
### Fläktmotorn

I en fläktmotor omvandlas elektrisk energi till mekanisk energi.



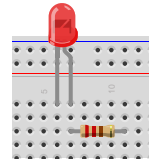
### Transformatorn

I en transformator sker energiomvandlingen mellan magnetisk och elektrisk energi.



### LED-kretsen

I en lysdiod omvandlas elektrisk energi till ljus (elektromagnetisk energi).



## Energiomvandling - även i elektriska energikällor

För att få elektrisk ström krävs en energikälla. Våra viktigaste elektriska energikällor är generatorer, solceller och batterier. Även i dessa sker energiomvandlingar.



### Generatorer

Generatoren (en. alternator) omvandlar mekanisk energi till elektrisk energi. De är används i kärnkraftverk, vindkraftverk, vattenkraftverk och andra elektriska anläggningar som producerar elektrisk energi. Mindre generatorer finns i t.ex. bensindrivna elverk och fordon. Bilden visar en fordonsgenerator. Det är bilens generator som driver dess elektronik samt ser till att bilbatteriet hålls fulladdat.



**Cykeldynamo**

Är en mindre och enklare typ av elektrisk generator. Den nyttjar framhjulets rotation och omvandlar rörelseenergi till elektrisk energi. Bilden visar variant som sitter inbyggd i hjulnavet.



$E = mc^2$  som visar att energin är en form av massa. Den tröghet som gäller för massa gäller även för energiomvandling. Som du ska se gäller detta även energiomvandlingar i den elektriska kretsen.

**Effekt är energiomvandlings-hastighet**

Effekt kan beskrivas som den hastighet med vilken energi omvandlas per tidsenhet. Formeln för effekt är  $P = E/t$  där ( $E$ ) är energin och ( $t$ ) är tiden. Energi kan som bekant mätas i olika enheter, wattsekunder (Ws), joule (J) eller newtonmeter (Nm). Tiden mäts i sekunder. Istället för "energiomvandlingshastighet" använder vi begreppet effekt.

$$P = \frac{E}{t}$$

Effekt ( $P$ ) uttrycker hur snabbt energi ( $E$ ) omvandlas till arbete ( $t$ ).

**Solceller**

Omvandlar ljus direkt till elektrisk energi. En solpanel är en sammansättning av många solcellsmoduler som seriekopplats. Solpaneler finns i många storlekar, från mindre på några watt, till stora kraftfulla för fastigheter. Omvandlingen sker med halvledarteknik.



**Batterier**

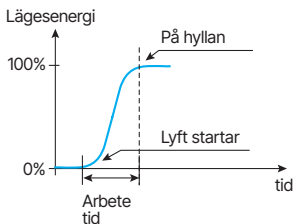
I batterier lagras energin i kemisk form, den omvandlas sedan till elektrisk energi. Batteriets funktion behandlas längre fram i boken.



Formeln visar att ju högre effekt ( $P$ ) desto snabbare förbrukas energin ( $E$ ) per tidsenhet ( $t$ ). Det innebär att om effekten är hög, utförs arbetet snabbt och energin förbrukas under en kort tidsperiod. Å andra sidan, om effekten är låg, utförs arbetet långsamt och energin förbrukas över en längre tidsperiod. Med formeln  $E = P \cdot t$  beräknas hur mycket energi ( $E$ ) som förbrukats genom att multiplicera effekten ( $P$ ) med tiden ( $t$ ). Energi anges ofta med enheten Ws i elläran, men kan även anges i det något mer bekanta kWh. Gör man det, måste effekten samtidigt anges i kW och tiden i h.

**Energiomvandling tar tid**

Lägg märke till omvandlingshastigheten, tiden det tar att omvandla energiformer. Energi kan inte omvandlas omedelbart från en form till en annan (utom möjligen på partikelnivå). Ta exemplet (figur 1.4) med att lyfta en box från golvet till bordet. Här omvandlas mekaniskt arbete till lägesenergi.



**Figur 1.10**

Tröghet vid energiomvandling

Hur mycket man än tar i, vilka maskiner man än tar hjälp av, kan inte energiomvandlingen utföras på nolltid. Tröghet kan härledas till formel:

$$E = P \cdot t$$

Energin = Effekten · tiden  
kWh = kW · h

**Beräkningstriangel för Energi - Effekt - Tid**

$E = P \cdot t$        $P = \frac{E}{t}$        $t = \frac{E}{P}$

**E = Energi = Ws (wattsekund)**  
**P = Effekt = W (watt)**  
**t = tid = s (sekund)**

**Enhet för effekt är watt**

Som vi lärt oss är enheten för energi är wattsekund (Ws). Enheten för effekt blir watt (W) eftersom:  $P = E / t$  ger Ws/s vilket kan förenklas till W.

Bra att komma ihåg är:

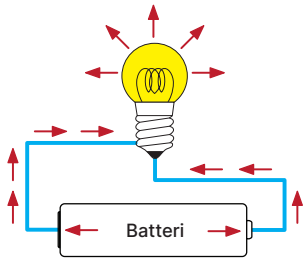
1 Ws är samma sak som 1 J (Joule).

1 W är samma sak som 1 J/s (Joule / sekund).

En värmefläkt är märkt 1500 W förbrukar energi med hastigheten 1500 Ws/s eller 1500 J/s.

**Enkelriktad energitransport**

En mycket viktig egenskap för energiförflyttning är att energi alltid rör sig från källa till förbrukningsställe dvs. i en riktning. Det gäller även i den elektriska kretsen.



**Figur 1.11**

Energins riktning från batteri till lampa

I lampkretsen ovan omvandlas lagrad kemisk energi från ett batteriet till elektrisk energi.

När kretsen sluts och ström börjar flyta, skapas ett elektrisk- och magnetiskt fält i och runt ledaren. Det är det här fältet som transporterar energin till lampan och får den att stråla ut ljus- och värmeenergi. Energin i den elektriska kretsen går bara i en riktning, från källa till förbrukare.

Elektriska och magnetiska fält är två fundamentala kraftfält i naturen vilka tillsammans kan förflytta energi genom rummet eller mellan objekt som interagerar med fälten, t.ex. en ledare i en sluten krets.

Men helt annorlunda är det med den elektriska strömmen, det förklaras i nästa kapitel.

**Energitransport kan gå fort**

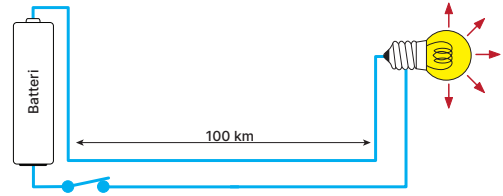
Som vi konstaterat kan inte energi omvandlas omedelbart. Det är där emot annorlunda med förflyttningen av energi.

Energi kan förflyttas sakta, som t.ex. genom värmeledning eller genom långsam rörelseenergi.

Men energi kan också förflyttas mycket snabbt, t.ex. genom solljuset eller den elektriska kretsen.

**Lampan tänds omedelbart**

Snabbheten vid förflyttning av energi är utmärkande för den elektriska kretsen. När vi tänder en lampa med strömbrytaren, upplever vi att lampan tänds direkt, även om det är flera km ledning mellan lampan och batteriet.



**Figur 1.12**

Lampan tänds "direkt" trots avståndet

Den snabba energitransporten kan bara jämföras med överföring av ljusenergi dvs. fortplantning genom elektromagnetiska vågor. Det sker med 300 000 km/sek (ljusets hastighet). Att energitransporten går så snabbt är ingen en tillfällighet. All elektricitet har att göra med överföring av energi, från den enkla kretsen där en lampa tänds, till de mest komplicerade kommunikationssystem där information omvandlas och skickas genom radiovågor.

I kommande kapitel ska vi närmare undersöka hur energin används i den elektriska kretsen genom att ta reda på vad elektrisk spänning och ström är.

**Inte utan förlust**

Ingen energi kan transporteras utan förluster. Energiförlust i elektriska kretsar uppstår när ström passerar genom en ledare. När elektronerna rör sig genom en ledare kolliderar de med atomer och molekyler i materialet vilket orsakar friktion och värmeutveckling. Det närmsta vi kan komma förlustfri överföring av energi är överföring genom supraledare. En supraledare är ett material utan elektriskt motstånd. Supraledning uppstår när vissa material kyls ner till mycket låg temperatur, vanligtvis nära absoluta nollpunkten (0 kelvin eller  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).



## Övningsuppgifter

### 1.1 Ws och kWh

1 Ws är den energimängd som används för att förbruka effekten 1 W under 1 sekund.

Om man förbrukat 1 kW (1000 W) under 1 timma blir energimängden beskrivet i kWh:

$$E = 1000 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 1 \text{ kWh.}$$

Beskrivet i Ws blir det:

$$1 \text{ h i sekunder} = 60 \text{ min} \cdot 60 \text{ s} = 3600 \text{ s}$$

$$E = 1000 \cdot 3600 \text{ Ws} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ws.}$$

Tänk dig nu att du har ett elektriskt element med effekten 2,2 kW inkopplat i 15 minuter.

Hur stor energi förbrukas, mätt i Ws?

### 1.2 Det vi betalar för

Om du studerar en elräkning står det ingenting om strömförbrukning. Detta beror på att det inte är strömmen som förbrukas. Det som förbrukas i ljuskällor, värmepumpen och tvättmaskinen är energi. Energin som förbrukats mäts i kWh (kilowatt timmar).

Hur mycket kostar energiförbrukningen för en villa under ett år om snittpriset är 175 öre per kWh och årsförbrukningen är 15 620 kWh?

### 1.3 Vad ger en solpanel

En molnfri sommardag ger solen effekten:

1 kW/m<sup>2</sup> (genomsnitt i Sverige). En bra solcell har en effektivitet (verkningsgrad) på 16 %. Hur mycket energi kan utvinnas en dag med 6 timmars sol om panelen har ytan 2 m<sup>2</sup>?

### 1.4 Sälj egenproducerad solenergi

En villa med en solcellsanläggning producerar under ett år 9 300 kWh. Av detta egenförbrukas 5 600 kWh. Hur mycket kommer du att få återbetalt från elbolaget om du säljer energin du inte förbrukat? Elbolaget betalar 60 öre / kWh för den energi du säljer.

### 1.5 Elbilen

En Tesla har en motoreffekt på ca 200-500 kW beroende på modell. Det motsvarar 272-680 hk eftersom 1 kW = 1.360 hk. Vid en biltur körs bilen 45 mil med en snittförbrukning på 1,5 kWh/mil. Vi antar att elen kostade 220 öre/kWh vid tillfället.

Vad blir elkostnaden för den här bilturen?

Vad blev kostnaden per mil?

### 1.6 Energins fortplantning i den elektriska kretsen

Tänt dig att avståndet mellan ett batteri och en lampa verkligen är 100 km som i **figur 1.12**. Hur lång tid tar det innan lampan tänds? Vi tänker oss att energin fortplantas (i ledaren) med en hastighet av 0,7 · ljusets hastighet (300 000 km/sek).

### 1.7 Vad blir lägesenergin?

En hammare med massa 0,6 kg lyfts upp till en höjd av 10 meter. Hur mycket potentiell energi har hammaren nu? Ange svaret i wattsekunder (Ws). Använd formeln för potentiell energi:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

### 1.8 Vad blir rörelseenergin?

En bil med en massa på 2200 kg färdas med hastighet på 20 m/s (Omvandlat till km/h = 3,6 \* 20 = 72 km/h). Vad är dess rörelseenergi?

Ange svaret i wattsekunder (Ws).

Använd formeln för kinetisk energi:

$$E_k = m \cdot v^2 / 2$$

### 1.9 Vad blir arbetet?

En person trycker en låda över golvet med en kraft på 50 newton (N). Lådan förflyttas en sträcka på 2 meter. Hur mycket mekaniskt arbete utför personen på lådan? Ange svaret i wattsekunder (Ws). Använd formeln för mekaniskt arbete:

$$E = F \cdot s$$

## Fördjupning

### Gravitationen och enheten för kraft

Gravitationen (tyngdkraften) är den naturkraft som verkar mellan alla kroppar (objekt) som har massa. Det är en attraherande kraft dvs. kroppar dras till varandra. Kraftens storlek är proportionell mot kropparnas massa.

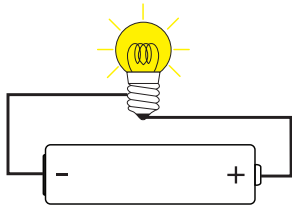
Jordens gravitation orsakar att alla objekt dras mot jordens centrum (tyngdpunkt). Newton formulerade den lag som gäller för kraften mellan två massor (gravitationslagen). På jorden kan denna kraft, tyngdkraften, beräknas som:

$F = m \cdot g$  där  $g$  är tyngdaccelerationen (ca  $9,81 \text{ m/s}^2$ ). Enheten för kraft kan då erhållas som:

$\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ . Istället för denna enhet används enheten newton (N). Tyngdkraftens storlek kan beräknas som:  $F = m \cdot g$  vilket dock bara stämmer om vi tänker oss kraftens riktning som en linje mellan objektets och jordens mittpunkt. För en kraft måste man ta med både storlek och riktning i beräkningen.

### Elektrisk kraft liknar mekanisk

Mekanisk kraft och dess verkan kan man ofta bekräfta med vardagliga erfarenheter. Det är därför en fördel att känna till grunderna för mekanisk kraft och energi när man tar steget in i elektricitetens värld där det mesta är osynligt. Formler, modeller och resonemang hämtade från mekaniken fungerar oftast för att förstå de elektriska fenomenen.



**Figur 1.13**  
Enkel lampkrets

Ta lampkretsen som exempel. Du vet att energi flyttas från batteri till lampen men vilken är den kraft som orsakar förflyttningen, har den någon storlek, någon riktning, kan den mätas, har den något namn? Frågorna utgår från mekaniken. Svaren finns i elläran, i de kommande kapitlen.

### Skalärer och vektorer

Fysiska storheter kan delas in i skalära storheter och vektorer. En skalär har endast en storhet som har en storlek. Exempel på skalär storhet är tid, temperatur, vikt och volym. En vektor är en storhet som både har storlek och riktning. Exempel på en vektorstorhet är kraft, förflyttning, hastighet och acceleration.

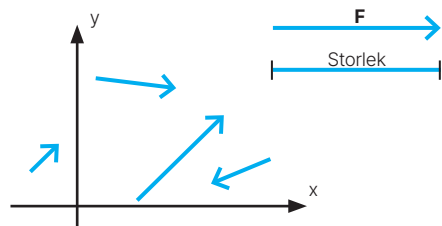
Inom elläran spelar riktning en avgörande roll för karakterisering av såväl elektriska som magnetiska fenomen. Den viktigaste av alla är elektrisk ström, som har såväl storlek som riktning.

Minst lika viktigt i elläran är magnetfält. Att magnetfält har riktning kan enkelt konstateras med hjälp av en kompass. Magnetnålen ställer in sig i magnetfältets riktning.



### Grafisk framställning

För att förstå hur vektorstorheter fungerar kan man vid enkla beräkningar representera vektorer (till exempel krafter) med pilar. Pilarna anger riktning och dess längd motsvarar kraftens absoluta storlek.

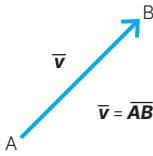


**Figur 1.14**  
Vektorer med storlek och riktning

### Hur beskrivs en vektor?

Vektorstorheter beskrivs med riktade pilar. Vektorns längd motsvarar dess absoluta storlek och kan t.ex. vara en kraft. Vektorer med samma riktning kan man enkelt beräkna. Man kan grafiskt undersöka vad som blir resultatet när flera krafter samverkar eller motverkar varandra.

## Fördjupning



**Figur 1.15**

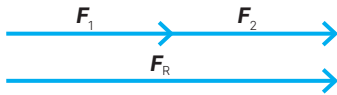
Vektorer beskrivs med sträck över bokstaven

### Beskrivning av vektorer

För att skilja på skalära storheter och vektorstorheter kan man låta bokstäverna för vektorer vara feta eller ha ett streck över bokstaven.

Det kan alltså se ut så här:  $F = m \cdot g$ .  $F$  och  $g$  är båda vektorer.

Vanligast är att illustrera vektorn med en pil som har en startpunkt och en slutpunkt. I **figur 1.14** beskrivs vektorn  $\vec{v}$  (med ett vektorstreck över) som har startpunkten A och slutpunkten B. Det kan även skrivas som  $\vec{v} = \overline{AB}$ . Sträckan  $\overline{AB}$  är en riktad sträcka. Vektorns längd betecknas  $|\vec{v}|$  vilket är vektorns absoluta storlek.

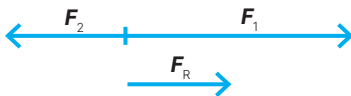


**Figur 1.16**

Addition med samma riktning

### Addition av vektorer

Det enklaste fallet är när man adderar vektorer som har samma riktning.  $F_1 + F_2$  blir  $F_R$ . Resultatet  $F_R$  kallas för resultatanten.

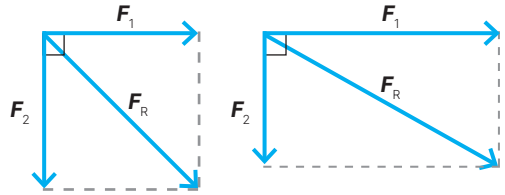


**Figur 1.17**

Vektorer i olika riktningar

### Motverkande vektorer

Om vektorerna har motsatt riktning blir resultatet  $F_R$  skillnaden ( $F_1 - F_2 = F_R$ ).



**Figur 1.18**

Vektorer kan beräknas med Pythagoras sats

### Dela upp en vektor i dess komponenter

En vektor kan delas upp i en lodrät (y-led) och en vågrät (x-led) komponent med en rät vinkel mellan dessa. Om krafterna är vinkelräta mot varandra kan storleken på  $F_R$  enkelt beräknas med Pythagoras sats som  $F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$ .

### Vektorräkning sammanfattning

Det kan vara väl värt att lära sig mer om vektorräkning då det ofta förekommer inom ellära. När det kommer till elektriska- och magnetiska flöden, vilket är fundamentalt för att kunna förstå växelström är vektorer och vektorräkning en viktig del.

## Facit

### Svar till övningsuppgifter - kapitel 1

- 1.1  $E = P \cdot t = 2200 \cdot 15 \cdot 60 = 1,98 \cdot 10^6 \text{ Ws}$
- 1.2 Kostnaden blir  $1,75 \text{ kr} \cdot 15 \cdot 620 = 27 \text{ 335 kr}$
- 1.3 Effekten ( $P$ ) =  $2 \cdot 1000 = 2000 \text{ W}$ .  
Energien ( $E$ ) =  $P \cdot t = 2000 \text{ (W)} \cdot 6 \text{ (tim)} = 12 \text{ kWh}$ . Solpanelens verkningsgrad är 16 % dvs.  $12 \cdot 0,16 = 1,9 \text{ kWh}$
- 1.4 Återbetalningen blir  $9\ 000 - 5\ 600 = 3\ 700 \text{ kWh}$ .  $3\ 700 \cdot 0,60 \text{ kr} = 2\ 220 \text{ kr}$   
Detta är egentligen inte hela sanningen då man dessutom får ersättning för: påslag från elbolaget, skattereduktion och elcertifikat. Det skulle ha dubblat ovanstående belopp (detta gällde under 2023).

## Facit

1.5 Resans förbrukning:  $1,5 \cdot 45 = 67,5$  kWh.  
Kostnaden blir då:  $67,5 \text{ kWh} \cdot 2,20 \text{ kr} = 149 \text{ kr}$ . Per mil blir det:  $149 \text{ kr} / 45 \text{ mil} = \mathbf{3,30 \text{ kr} / \text{mil}}$

1.6 Vi använder formeln för hastighet  $v=s/t$  där ( $v$ ) är hastighet, ( $s$ ) är sträckan och ( $t$ ) är tiden.  $t = 100 \text{ km} / (0,7 \cdot 300\,000 \text{ km/s}) = 0,000476 = 4,76 \times 10^{-4} = \mathbf{476 \mu\text{s}}$

1.7  $m = 1,1 \text{ kg}$  (hammarens massa)  
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  (gravitationsaccelerationen)  
 $h = 10 \text{ m}$  (höjden som hammaren lyfts upp till).

Formeln för potentiell energi =  $m \cdot g \cdot h$   
ger:  $0,6 \cdot 9,81 \cdot 10 = \mathbf{58,86 \text{ Ws}}$

1.8  $m = 2200 \text{ kg}$  (massa av bilen)  
 $v = 20 \text{ m/s}$  (hastigheten på bilen)  
Vi använder formeln för kinetisk energi:  
 $m \cdot v^2 / 2$  ger:  
 $2200 \cdot 20^2 / 2 = \mathbf{440\,000 \text{ Ws}}$

1.9  $F = 50 \text{ N}$  (kraften som personen applicerar på lådan)  
 $s = 2 \text{ m}$  (sträckan som lådan förflyttas)  
Vi använder formeln för mekaniskt arbete:  
 $F \cdot s$  ger:  
 $50 \cdot 2 = \mathbf{100 \text{ Ws}}$

## Sammanfattning

### Energi innebär rörelse

eller förmåga till rörelse. Allt som rör sig eller kan få något att röra sig, bär på energi.

Arbete är energi

$F =$  Kraft mäts i grundenheten (N) newton

$m =$  Massa är en form av energi ( $E = mc^2$ )  
mäts i (kg) kilo

$E =$  Energi mäts i (J) joule, (Ws) wattsekund eller (Nm)

### Potentiell energi är lägesenergi

Potentiell energi ( $E_p$ ) eller lägesenergi kan uttryckas som den energi som en kropp har på grund av sin position i ett gravitationsfält. Om en kropp med massa ( $m$ ) kg lyfts upp till höjden ( $h$ ) meter över marken, får den en potentiell energi som kan uttryckas som:  $m \cdot g \cdot h$  där ( $g$ ) är gravitationsaccelerationen ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ). Svaret fås i enheten joule, Ws eller Nm.

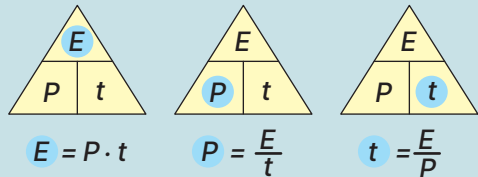
### Kinetisk energi är rörelseenergi

Kinetisk energi ( $E_k$ ) eller rörelseenergi kan uttryckas som den energi som en kropp har på grund av dess rörelse. Om en kropp med massa ( $m$ ) kg rör sig med hastigheten ( $v$ ) m/s har den en rörelseenergi som kan uttryckas som:  $m \cdot v^2 / 2$ . Svaret fås i enheten J (joule), Ws eller Nm.

### Arbete är energi

Mekaniskt arbete kan uttryckas som den produkt av kraften vilken verkar på en kropp och sträckan som kroppen förflyttas i riktning av kraften. Om en kraft ( $F$ ) newton påverkar en kropp under sträckan ( $s$ ) meter, har den utfört ett mekaniskt arbete som kan uttryckas som:  $F \cdot s$ . Svaret fås i enheten J (joule), Ws eller Nm.

### Beräkningstriangel för Energi - Effekt - Tid



$E =$  Energi = Ws (wattsekund)

$P =$  Effekt = W (watt)

$t =$  tid = s (sekund)

### Energi (E) kan anges i:

Ws (wattsekund), Wh (wattimme) eller kWh (kilowattimme).

Energi kan även anges i J (joule), kJ (kilojoule) eller MJ (megajoule).

Minns att  $1 \text{ Ws} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Nn}$