

Rodrigo de Miguel  
Institutt for lærerutdanning, NTNU  
Trondheim

Redaktørene, Naturfag  
Naturfagsenteret - Nasjonalt senter for naturfag i opplæringen  
Oslo

31. januar 2020

Kjære Redaktører,

I siste utgave av tidsskriftet Naturfag (Naturfag 1/19: Energi og materie) skriver Maria Vetleseter Bøe en velformulert artikkel om masseenergiloven. Artikkelen, og temaet tidsskriftet tar opp, tilbyr en sjelden mulighet til å rydde opp i en misoppfatning mange kjemilærere lider av, nemlig *massebevaring*.

Overraskende nok, rett etter Bøes artikkel kommer det en annen artikkel som påstår at massebevaring er intet mindre enn "en naturlov". Sant å si er artikkelen *Massebevaring - enkelt forklart* av Alexander H. Sandtorv preget av misoppfatninger som bør oppklares for tidsskriftets lesere.

For å illustrere den påståtte massebevaringen bruker Sandtorv forbrenningsreaksjoner. Han skriver at "Den kjemiske reaksjonen som skjer i motoren har ikke ledet til noe netto tap eller gevinst av masse, men vi har jo klart å flytte rundt på energi." Dette er ikke bare upresist, men dessverre også unøyaktig.

I kjemiske reaksjoner skjer det en energiutveksling med omgivelsene. Reaktantene, som har total masse  $m_R$ , tar inn energi  $E_{inn}$  fra omgivelsene. De blir omorganisert til produkter som har total masse  $m_P$ , og gir energi  $E_{ut}$  til omgivelsene. Skjematisk kan dette skrives som følger:

$$m_R + E_{inn} \rightarrow m_P + E_{ut}. \quad (1)$$

Det som er bevart i denne prosessen er energien, ikke massen. Energibevaringen kan formuleres som følger:

$$m_R c^2 + E_{inn} = m_P c^2 + E_{ut}, \quad (2)$$

eller

$$m_P - m_R = \frac{E_{inn} - E_{ut}}{c^2}. \quad (3)$$

På norsk kan (3) formuleres som: Massen som forsvinner (oppstår) i en kjemisk reaksjon er lik energien som frigis (fanges) delt på  $c^2$ . I endoenergetiske reaksjoner, f.eks. fotosyntese, har produktene mer masse enn reaktantene. Det motsatte skjer i eksoenergetiske reaksjoner, f.eks. forbrenningsreaksjoner.

Det enkleste kjemiske eksempel på masse-energi utveksling er kanskje ioniseringen av hydrogenatomet. Når et hydrogenatom i sin grunntilstand blir truffet av et foton med energi 13,6 eV, forsvinner den masseløse energipakken inne i atomet mens protonet og elektronet blir frie fra hverandre. Massen til det frie protonet og det frie elektronet er tilsammen større enn massen til hydrogenatomet som var, og masseforskjellen er 13,6 eV/ $c^2$ . Hver gang en binding brytes (uansett type) oppstår en massemengde som tilsvarer energien som ble brukt for å bryte bindingen. Og hver gang en binding dannes, forsvinner en massemengde som tilsvarer energien som frigis. Forholdet mellom massen  $m$  og energien  $E$  er gitt av masseenergiloven  $E = mc^2$ .

Istedenfor å erklære at "Massebevaring regnes som en naturlov, altså en sammenheng som er universell og alltid sann" (uheldig påstand av Sandtorv) kunne man ha brukt denne sjansen for å stadfeste at masse **ikke** er bevart. Og så forklare at, i forhold til massen av reaktantene, er masseendringen i kjemiske reaksjoner mye mindre og vanskeligere å måle enn i kjernefysiske prosesser, og at det er av den grunn man ofte ser bort fra masseendringer i kjemi. Dette tema tas opp i kjemididaktisk faglitteratur, se f.eks. [R. S. Treptow, *J. Chem. Educ.* **2005**, *82*, 1636-1641] og referanser deri.

Hilsen,

Rodrigo de Miguel, Professor i Naturfag  
Institutt for lærerutdanning, NTNU