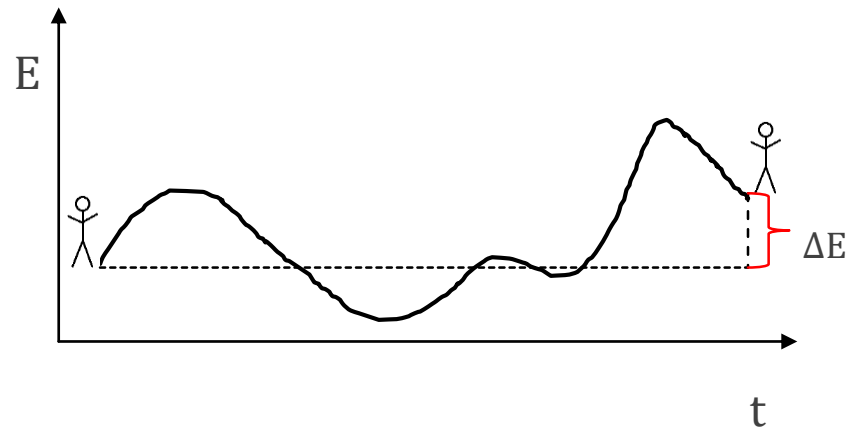


Reaktiot ja energia

Kemiallisen reaktion energianmuutokset

Reaktiolämpö ja Hessin laki

- ▶ Energian säilymislain mukaan systeemin energian muutos riippuu vain alku- ja lopputilasta, ei siitä, miten siihen on päädytty.



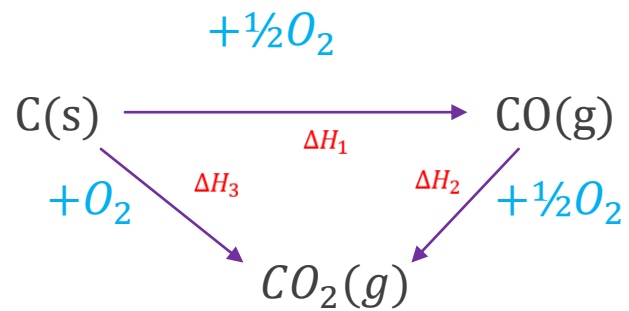
- ▶ Samoin kemiassa entalpian (kemiallisen energian) muutokset voidaan määritellä alku- ja lopputilojen avulla:

$$\Delta H = H(\text{reaktiotuotteet}) - H(\text{lähtöaineet})$$

❖ Muistutus:

- ❖ $\Delta H < 0 \rightarrow$ eksoterminen reaktio, eli se vapauttaa energiaa
- ❖ $\Delta H > 0 \rightarrow$ endoterminen reaktio, eli se sitoo energiaa

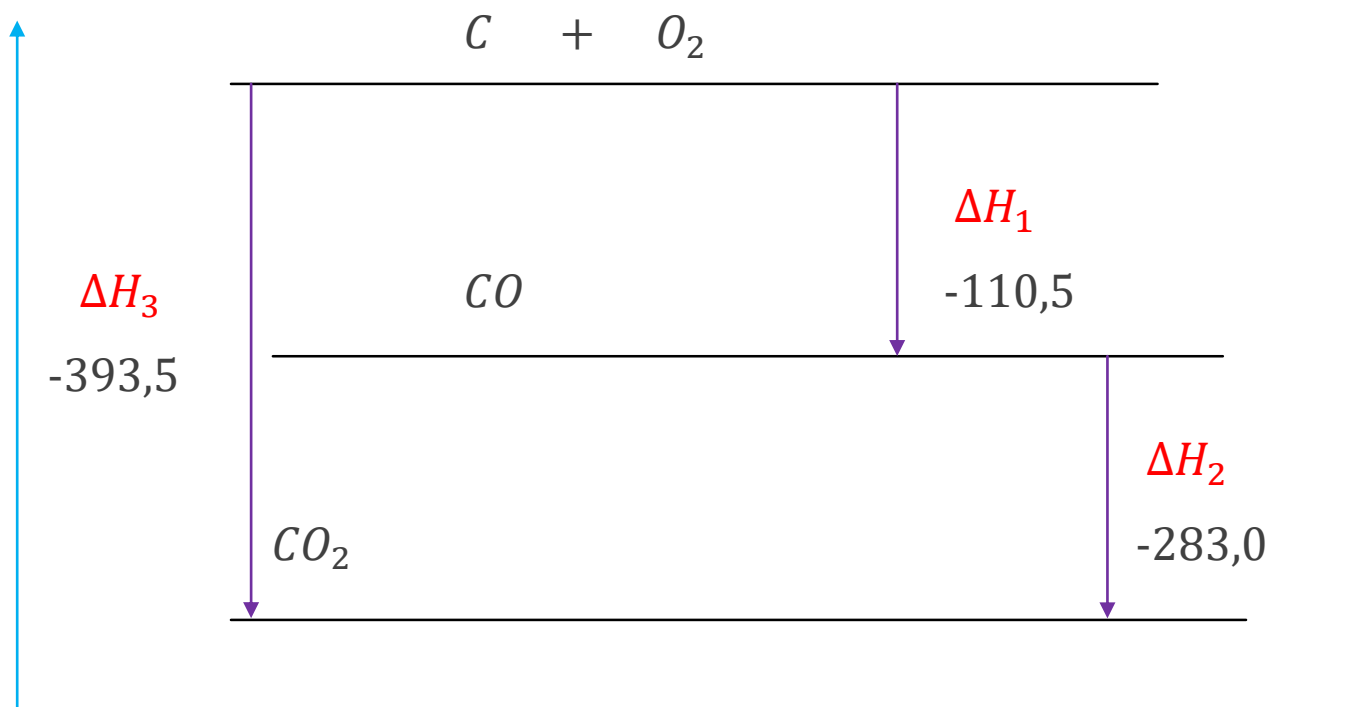
- Hessin lain mukaan voimme laskea eri reaktioiden entalpiamuutokset osareaktioiden summan avulla.



- Hessin lain mukaan $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2$

- ▶ Esim. Ratkaise vapautuvan energian määrä, kun CO palaa CO_2 :ksi.
- ▶ Taulukkokirjasta löytyy aineiden **muodostumislämpöjä** (energia muutos, kun 1 mooli muodostuu alkuaineista).
 - ▶ CO :n muodostumislämpö on $-110,5 \text{ kJ/mol}$
 - ▶ CO_2 : $\Delta H_f = -393,5 \text{ kJ/mol}$
- ▶ Hessin lain mukaan:
 - ▶ $\Delta H_f = -393,5 \text{ kJ/mol} - (-110,5 \text{ kJ/mol}) = -283,0 \text{ kJ/mol}$

entalpia
H
[kJ/mol]



Entalpian muutoksen mittaaminen

- ▶ Kalorimetrin avulla voimme mitata reaktion energian muutokset
- ▶ Jos kalorimetrissä on vettä, ja reaktion seurauksena lämpötila muuttuu, niin:

$$\Delta H = c \cdot m \cdot \Delta T$$

c = veden ominaislämpökapasiteetti ($4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$)

m = veden massa

ΔT = lämpötilan muutos

- ▶ Esim. 1 mol NaOH:ta liukenee 400ml vettä, jolloin lämpötila nousee $43\text{ }^{\circ}\text{C}$. Laske liukenemislämpö ΔH_{sol} .

- ▶ $m = 0,40\text{l} \cdot 1,00\text{ }^{\text{kg}}/\text{l} = 0,40\text{kg}$

$$\Delta H_{sol} = c \cdot m \cdot \Delta T = -4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,40\text{kg} \cdot 43\text{K} = -72\text{kJ}$$

- ▶ NaOH:ta oli 1 mol, joten liukoisuuslämpö on $-72\text{ }^{\text{kJ}}/\text{mol}$

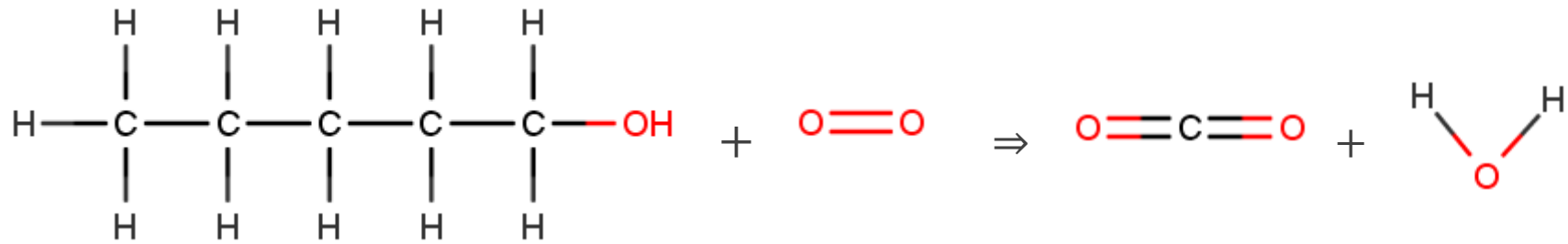
Reaktiolämmön laskeminen

- ▶ Reaktion entalpian muutos voidaan laskea kaavalla:

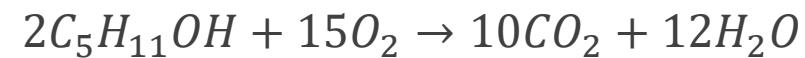
$$\Delta H = \Sigma \Delta H_f(\text{reaktiotuotteet}) - \Sigma \Delta H_f(\text{lähtöaineet})$$

- ▶ Joidenkin aineiden muodostumislämpö ΔH_f on taulukoitu. Muille aineille se voidaan arvioida sidosten avulla.

- Esim. Kuinka paljon energiaa vapautuu, kun poltetaan 1 mooli pentanolia?



- Tasapainotettu reaktioyhtälö:



► Lasketaan muodostumislämmöt:

► $\Delta H_f(\text{lähtöaineet})$

► Pentanolissa on 11kpl H-C, 1kpl O-H, 4kpl C-C ja 1kpl C-O sidoksia.

► Taulukkokirjan mukaan sidosten energiat ovat:

► C-H = $412 \text{ kJ/mol} \Rightarrow 11\text{kpl} = 4532 \text{ kJ/mol}$

► O-H = 463 kJ/mol

► C-C = $348 \text{ kJ/mol} \Rightarrow 4\text{kpl} = 1392 \text{ kJ/mol}$

► C-O = 360 kJ/mol

► $\Sigma = 6747 \text{ kJ/mol}$

► Happikaasussa on yksi O=O (496 kJ/mol)

► Kokonaisenergia, mikä tarvitaan lähtöaineiden hajottamiseen atomeihin on:

$$\Sigma \Delta H_f(\text{lähtöaineet}) = (2\text{mol} \cdot 6747 + 15\text{mol} \cdot 496) \text{ kJ/mol} = +20\,934 \text{ kJ}$$

► Lasketaan muodostumislämmöt:

► $\Delta H_f(\text{reaktiotuotteet})$

► Jokaisessa hiilidioksidissa on kaksi C=O ja vedessä kaksi O-H sidosta.

► Taulukkokirjan mukaan sidosten energiat ovat:

► C=O = $743 \text{ kJ/mol} \Rightarrow 2\text{kpl} = 1486 \text{ kJ/mol}$

► O-H = $463 \text{ kJ/mol} \Rightarrow 2\text{kpl} = 926 \text{ kJ/mol}$

► Kokonaisenergia, mikä vapautuu molekyylien muodostuessa:

$$\Sigma \Delta H_f(\text{reaktiotuotteet}) = -(10\text{mol} \cdot 1486 + 12\text{mol} \cdot 926) \text{ kJ/mol} = -25\,972 \text{ kJ}$$

- ▶ Reaktiion entalpian muutos:

$$\Delta H = \Sigma \Delta H_f(\text{reaktiotuotteet}) - \Sigma \Delta H_f(\text{lähtöaineet})$$

$$\Delta H = -25\,972 \text{ kJ/mol} + 20\,934 \text{ kJ/mol} = -5\,038 \text{ kJ}$$

- ▶ Pentanolin palamisessa vapautuu energiaa $\frac{5\,038 \text{ kJ}}{2 \text{ mol}} = 2519 \text{ kJ/mol}$.