

Energi og eksergi i bark og andre fuktige brensel

Ivar S. Ertesvåg
Institutt for mekanikk, termo-
og fluiddynamikk, NTNU
ivar.s.ertesvag@mtf.ntnu.no

juli 2000/sept. 2000

1 Brennverdi og kjemisk eksergi

Vi definerer *brennverdi* ved hjelp av eit tenkt brennkammer. Vi tilfører brensel og luft ved ein viss temperatur (som vi må velje ut frå ein eller annan standard). Det brenn, og vi tek ut så mykje varme at forbrenningsprodukta vert kjølte ned til den same temperaturen som brensel og luft hadde. Den varmen vi tek ut, er altså brennverdien.

Nedre brennverdi definerer vi slik at reaksjonen er fullstendig og at all H₂O i forbrenningsproduktet er i dampform. *Øvre brennverdi* definerer vi likeins, men slik at all H₂O i forbrenningsproduktet er i væskeform. Skilnaden mellom desse to vert altså kondensvarmen til vatnet.

Biobrensel inneheld vanlegvis vatn. Noko av energien gå med til å fordampe dette vatnet. Vi definerer *effektiv brennverdi* som nedre brennverdi for det fuktige brenselet (tørrestøff og vatn til saman).

Kjemisk eksergi er det arbeidet ein kan få ut av brenselet om ein fører det til jamvekt med omgjevnadene gjennom ein reversibel prosess. Det er altså det maksimale arbeidet frå brenselet. Verdien ligg ofte ikkje så langt unna brennverdien.

Når det er snakk om energi i brensel, er det (med ingen eller svært få unntak) nedre brennverdi. For fuktige brensel reknar ein med effektiv brennverdi (nedre brennverdi for det fuktige brenselet).

2 Effektiv brennverdi

Nedre brennverdi for tørstoffet er h_{ts} (kJ/kg), fuktinnhaldet er $w = m_{\text{vann}}/(m_s + m_{\text{vann}})$ (kg vatn per kg fuktig brensel), og fordampingsvarmen for vatn er h_{fg} . Då er effektiv brennverdi:

$$h_{\text{eff}} = h_{ts} \cdot (1 - w) - h_{fg} \cdot w = h_{ts} - (h_{ts} + h_{fg})w. \quad (1)$$

Dette er nedre brennverdi for blandinga av tørstoff og vatn; vi har rekna vatnet i avgassen som damp.

Fordampingsvarmen, h_{fg} , for vatn finn vi frå damptabellar, t.d. i Moran og Shapiro (1998:721). Verdien er 2442,3 kJ/kg ved 25 °C, 2528,9 kJ/kg ved 15 °C, og 2501,3 kJ/kg ved 0 °C.

For rekneøvingar kan vi setje $h_{ts} = 19$ MJ/kg (dvs pr. kg tørstoff). Fersk bark har typisk om lag 60 % fukt ($w = 0,6$). Med desse verdiane får vi $h_{\text{eff}} = 6,1$ MJ/kg.

3 Kjemisk eksergi

Her kan vi bruke ein empirisk formel gjeven av (Kotas 1995:267b): For tørre, faste brensel med eit visst oksygeninnhald er

$$\varphi_{\text{dry}} = \left(\frac{\varepsilon^{\circ}}{h_{\text{br},n}^{\circ}} \right)_{ts} = \frac{1,0438 + 0,1882 \frac{h}{c} - 0,2509 \left(1 + 0,07256 \frac{h}{c} \right) + 0,0383 \frac{h}{c}}{1 - 0,3035 \frac{h}{c}} \quad (2)$$

Her er h/c høvet mellom masse av hydrogen og masse av karbon i brenselet, og n/c og o/c tilsvarande for nitrogen og oksygen. Denne formelen gjeld for o/c frå 0,667 til 2,67 og skal vere nøyaktig innfor $\pm 1\%$. Høgt merkteikn \circ viser til at verdien er for referansetilstanden (25 °C, 1 atm).

Dette er verdien for tørstoff. For fuktige brensel vert høvet mellom kjemisk eksergi og effektiv brennverdi

$$\varphi = \frac{(\varepsilon^{\circ})_{\text{fukt}}}{h_{\text{eff}}} = \frac{(1-w)\varepsilon_{\circ,ts}}{(1-w)h_{ts} - w/h_{fg}} = \left(1 - \frac{w}{1-w} \frac{h_{fg}}{h_{ts}} \right)^{-1} \varphi_{\text{dry}}. \quad (3)$$

For bark kan vi bruke samansetjinga (massebasis) 50,0 % C, 6,1 % H, 42,7 % O og 1,2 % N (analydata kan variere noko). Det gjev $h/c = 0,123$, $n/c = 0,024$, $h/c = 0,853$, og $\varphi_{\text{dry}} = 1,072$.

Med $w = 0,60$, $h_{ts} = 19$ MJ/kg og $h_{fg} = 2,5$ MJ/kg, får vi $\varphi = 1,34$, $h_{\text{eff}} = 6,1$ MJ/kg og $\varepsilon_{\circ} = \varphi \cdot h_{\text{eff}} = 8,2$ MJ/kg.