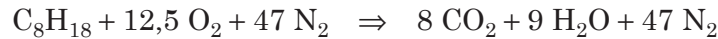


Esempio 32.6 Temperatura del punto di rugiada dei fumi

La temperatura del punto di rugiada è la temperatura di saturazione corrispondente alla pressione parziale del vapor d'acqua contenuto nell'aria; allorché si raggiunge questo punto il vapore inizia a condensare^{32.3}. Determinare la temperatura del punto di rugiada T_{rugiada} dei prodotti della combustione dell'isottano e del metano, sapendo che questi vengono scaricati alla pressione di 100 kPa.

SOLUZIONE

La reazione di combustione dell'isottano in condizioni stechiometriche è data da (vedi *Esempio 32.5*):



con un numero totale di moli n dei prodotti della combustione pari a **(32-10)**

$$n = n_{\text{CO}_2} + n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{N}_2} = 8 + 9 + 47 = 64 \text{ kmol totali}$$

mentre la frazione molare x_i dei singoli prodotti vale:

$$x_{\text{CO}_2} = \frac{n_{\text{CO}_2}}{n} = \frac{8 \text{ kmol di CO}_2}{64 \text{ kmol totali}} = 0,125 \frac{\text{kmol di CO}_2}{\text{kmol totali}}$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n} = \frac{9 \text{ kmol di H}_2\text{O}}{64 \text{ kmol totali}} = 0,141 \frac{\text{kmol di H}_2\text{O}}{\text{kmol totali}}$$

$$x_{\text{N}_2} = \frac{n_{\text{N}_2}}{n} = \frac{47 \text{ kmol di N}_2}{64 \text{ kmol totali}} = 0,734 \frac{\text{kmol di N}_2}{\text{kmol totali}}$$

Ma, per la **32-12**, la frazione molare x_i del singolo componente è anche uguale al rapporto tra la sua pressione parziale p_i e la pressione totale p dei prodotti.

$$x_i = \frac{n_i}{n} = \frac{p_i}{p}$$

In particolare nel caso dell'acqua possiamo scrivere:

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p} \Rightarrow p_{\text{H}_2\text{O}} = p x_{\text{H}_2\text{O}}$$

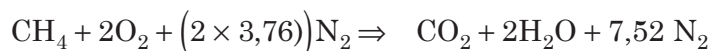
ed, essendo la pressione totale $p = 100 \text{ kPa}$, la pressione parziale del vapor d'acqua risulta:

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = 100 \text{ kPa} \times 0,141 = 14,1 \text{ kPa}$$

La temperatura di saturazione corrispondente a questa pressione è anche la temperatura del punto di rugiada. Sulla *Tabella A.3.2* leggiamo, alla pressione di 10 kPa, 45,81 °C e, alla pressione di 15 kPa, 53,97 °C. Alla pressione di 14,1 kPa, la temperatura è allora circa pari a 52 °C e quindi la temperatura alla quale inizia a condensare il vapor d'acqua contenuto nei fumi della combustione dell'isottano vale:

$$T_{\text{rugiada}} = 52 \text{ °C} \quad \ll \text{isottano} \gg$$

La reazione di combustione del metano è:



con numero di moli totale n , frazione molare e pressione parziale del vapor d'acqua pari a:

$$n = n_{\text{CO}_2} + n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{N}_2} = (1 + 2 + 7,52) \text{ kmol} = 10,52 \text{ kmol}$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n} = \frac{2 \text{ kmol}}{10,52 \text{ kmol}} = 0,19 \quad p_{\text{H}_2\text{O}} = 100 \text{ kPa} \times 0,19 = 19 \text{ kPa}$$

Alla pressione di 15 kPa la temperatura di saturazione è 53,97 °C, mentre alla pressione di 20 kPa la temperatura di saturazione è 60,06 °C (*Tabella A.3.2*); la temperatura di rugiada del metano si può ritenere allora pari a circa:

$$T_{\text{rugiada}} = 59 \text{ °C} \quad \ll \text{metano} \gg \quad \blacktriangleleft$$

COMMENTI In ambedue i casi, isottano e metano, si tratta di temperature di rugiada teoriche, perché la combustione in un impianto termico avviene con un eccesso d'aria (potrebbe essere del 20%) e allora il valore della temperatura di rugiada risulterebbe più basso; nel caso del metano si passerebbe da 59 °C a 54 °C, ma parallelamente scenderebbe anche quella dell'isottano. I due valori teorici possono perciò essere considerati indicativi della differenza tra le temperature di rugiada dei fumi derivanti dalla combustione dei due idrocarburi. Pensando a una combustione in un impianto termico, andrebbe considerato, al posto dell'isottano, il gasolio che, per il minor contenuto di idrogeno rispetto al carbonio (14H contro 16H, *Tabella A.8*), ha una temperatura di rugiada ancora più bassa. L'acqua, che condensa nei prodotti della combustione, di solito contiene dei gas disciolti e perciò può essere molto corrosiva. Ciò è vero per il gasolio che contiene elementi particolarmente aggressivi, come lo zolfo: nella combustione si origina biossido di zolfo che, combinandosi con l'acqua, genera acido solforico. È per questo motivo che i prodotti della combustione vengono mantenuti al di sopra della temperatura del punto di rugiada fino al momento in cui vengono scaricati nell'atmosfera. Non è questo un problema per il gas naturale (composto principalmente da metano) che è pressoché esente da zolfo e da altri elementi aggressivi.