

Corso di COMBUSTIONE E SICUREZZA

Anno accademico 2012/13

ING. ENERGETICA

3 Febbraio 2014

Tempo a disposizione: 150 min**COGNOME:** _____**NOME :** _____**MATRICOLA :** _____

1. Analizzare le differenti modalità di propagazione di un'onda di combustione monodimensionale, piana ed adiabatica (4 punti):
 - a. Descrivere il modello fisico/matematico indicando chiaramente le varie grandezze fisiche coinvolte.
 - b. Indicare graficamente le condizioni corrispondenti alle varie modalità di propagazione (commentare adeguatamente i grafici).
 - c. Evidenziare i punti di Chapman e Jouguet e commentarne le caratteristiche.
2. Descrivere il modello di propagazione di fiamma di Zeldovich Frank-Kamenetskii Semenov (8 punti):
 - a. Definire la velocità laminare di fiamma e lo spessore di fiamma. Indicare valori tipici per s_L e per lo spessore di fiamma (miscela idrocarburi/aria a p e T ambiente, e $ER=1$)
 - b. Riportare chiaramente le equazioni, le ipotesi e le semplificazioni utilizzate nel modello.
 - c. Analizzare la zona di preriscaldamento valutando il profilo di temperatura in questa regione.
 - d. Analizzare il caso in cui l'ordine globale di reazione sia pari a 0.
 - e. Analizzare l'effetto della pressione sulla velocità laminare di fiamma.
3. Cos'è il diametro/distanza di quenching? qual è il suo ordine di grandezza? A pari rapporto di equivalenza indicare, giustificando la risposta, quale delle due miscela ha un minor diametro di quenching: aria/metano o ossigeno/metano? (5 punti)
4. Un bruciatore bunsen premiscelato utilizza come combustibile una miscela di diverse sostanze. In termini di specie atomiche la sola miscela combustibile (a p e T ambiente la miscela è assimilabile a un gas perfetto) ha la seguente composizione: $C=3$, $H=12$, $O=1$, $N=1$ (moli della specie atomica per mole di miscela combustibile). L'entalpia di formazione della miscela combustibile è stata stimata in -600 kJ/mole. Il bruciatore opera in condizioni laminari a pressione e temperatura ambiente ($p=1$ atm, $T_{amb}=298$ K) e con un rapporto di equivalenza pari a 0,85. La densità del solo combustibile (nelle condizioni indicate) è pari a $3,15$ kg/m³. Il bruciatore è progettato per avere un flusso con un velocità uniforme sulla sezione di uscita. Determinare (8 punti):
 - a. La portata massica di combustibile richiesta perché la potenzialità termica del bruciatore sia pari a 3 kW. (assumendo combustione completa)
 - b. La portata massica di aria richiesta (in kg/s).
 - c. Dimensionare il diametro del bruciatore in modo che la lunghezza di fiamma risulti pari a 10 cm.
 - d. Assumendo che i prodotti di combustione siano in condizioni di equilibrio termochimico e che il sistema sia adiabatico: stimare la temperatura dei prodotti di combustione.
 - e. Se a causa di un errore la portata di aria venisse aumentata raggiungendo un rapporto di equivalenza pari a 0,7, come verrebbe modificata l'altezza di fiamma? Potrebbero insorgere problemi? (giustificare le risposte)
5. Un serbatoio da 4 m³ deve contenere una miscela di etano (C_2H_6), monossido di carbonio ed aria a pressione e temperatura ambiente (1 bar e 23 °C). I due combustibili sono introdotti nel serbatoio sotto forma di miscela. Se la quantità in volume di CO contenuta nel serbatoio deve essere doppia di quella dell'etano, determinare (5 punti):
 - a. La quantità in peso di miscela etano/CO che può essere immagazzinata nel serbatoio senza pericolo di deflagrazione accidentale della miscela aria/etano/monossido di carbonio.
 - b. La soluzione è unica? Commentare

Limiti inferiori di infiammabilità a 1 bar e 23 °C: C_2H_6 in aria = 3%, CO in aria =12,5% (tutti su base volumetrica)

La velocità laminare di fiamma per la miscela dell'esercizio 4 può essere valutata tramite la seguente espressione (si assuma $Y_{dil}=0$):

$$s_L = s_{L,ref} \left(\frac{T_u}{T_{u,ref}} \right)^\gamma \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)^\beta (1 - 2.1Y_{dil}) \quad \begin{array}{l} s_{L,ref} = B_M + B_2 (\varphi - \varphi_M)^2 \quad T_{u,ref} = 298 \text{ K} \\ \gamma = 2.18 - 0.8(\varphi - 1) \quad p_{ref} = 1 \text{ atm} \\ \beta = -0.16 + 0.22(\varphi - 1) \end{array}$$

φ = rapporto di equivalenza

$$B_M = 51 \text{ cm/s}, B_2 = -120 \text{ cm/s}, \varphi_M = 1,1$$

ATTENZIONE: i valori delle costanti B_M , B_2 e φ_M , seppur ragionevoli, sono "inventati" e vanno usati solo per risolvere numericamente l'esercizio.

 Entalpie di formazione in condizioni standard e a $T=298 \text{ K}$:

$$h_{f,CH_4}^0 = -74,8 \text{ kJ/mole};$$

$$h_{f,C_3H_8,gas}^0 = -104,7 \text{ kJ/mole};$$

$$h_{f,C_2H_6,gas}^0 = -84,7 \text{ kJ/mole};$$

$$h_{f,H_2O,gas}^0 = -241,9 \text{ kJ/mole};$$

$$h_{f,CO_2,gas}^0 = -393,6 \text{ kJ/mole}$$

$$h_{f,CO,gas}^0 = -110,5 \text{ kJ/mole}$$

 Entalpie sensibili:

$$[H(T)-H(298)]_{CO_2} = 5,839E-06 T^2 + 4,098E-02 T - 13,29 \text{ (kJ/ mole)}$$

$$[H(T)-H(298)]_{H_2O} = 5,525E-06 T^2 + 3,026E-02 T - 9,721 \text{ (kJ/ mole)}$$

$$[H(T)-H(298)]_{O_2} = -2,328E-06 T^2 + 2,963E-02 T - 9,211 \text{ (kJ/ mole)}$$

$$[H(T)-H(298)]_{N_2} = 2,179E-06 T^2 + 2,817E-02 T - 8,822 \text{ (kJ/ mole)}$$

 NOTA: su ogni foglio si riporti: NOME, COGNOME, NUMERO DI MATRICOLA, DATA
 MI RACCOMANDO NUMERATE I FOGLI DI BELLA!