

Bilanci di massa:

① $p = \text{atm}$
 $T = 200^\circ\text{C} = 473\text{K}$
 $\dot{V} = 2000\text{ m}^3/\text{h} \rightarrow \text{PORTATA IN USCITA}$

/ vol			
O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O
4	72	9	15

→ combustioni in eccesso di ossigeno
 ho dato più ossigeno di quanto me ne serviva

? = composizione in frazioni molari e massiche dei componenti

$X_i \rightarrow X_{O_2} = 0,04$ BASSE PRESSIONI E ALTE TEMPERATURE
 $X_{N_2} = 0,72$ frazioni molari = frazioni volumetriche (gas ideali)
 $X_{CO_2} = 0,09$
 $X_{H_2O} = 0,15$

imponiamo $n_{tot} = 1\text{ mol}$
 $n_{O_2} = 0,04\text{ mol}$
 $n_{N_2} = 0,72\text{ mol}$
 $n_{CO_2} = 0,09\text{ mol}$
 $n_{H_2O} = 0,15\text{ mol}$

$m_{O_2} = n_{O_2} \cdot PM_{O_2} = 0,04 \cdot 32 = 1,28\text{ g}$
 $m_{N_2} = n_{N_2} \cdot PM_{N_2} = 0,72 \cdot 28 = 20,16\text{ g}$
 $m_{CO_2} = n_{CO_2} \cdot PM_{CO_2} = 0,09 \cdot 44 = 3,96\text{ g}$
 $m_{H_2O} = n_{H_2O} \cdot PM_{H_2O} = 0,15 \cdot 18 = 2,7\text{ g}$

$w_x = \frac{m_x}{m_{tot}}$

$w_{O_2} = 0,045$
 $w_{N_2} = 0,717$
 $w_{CO_2} = 0,140$
 $w_{H_2O} = 0,096$

28,1g

? concentrazione molare (mol/m³) e massica (g/m³) dei composti:

$\tilde{V} = \frac{V}{n} = \frac{RT}{P} = \frac{8,31 \cdot 473}{101325} = 0,0388 \frac{\text{m}^3}{\text{mol}} \Rightarrow c = \frac{1}{\tilde{V}} = 25,76 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$

$C_i = C X_i$ o n° di moli / volume totale

$C_{O_2} = 0,04 \cdot 25,76 = 1,03 \text{ mol/m}^3$ (o $0,04/0,0388 = 1,03 \text{ mol/m}^3$)
 $C_{N_2} = 0,72 \cdot 25,76 = 18,54 \text{ mol/m}^3$
 $C_{CO_2} = 0,09 \cdot 25,76 = 2,32 \text{ mol/m}^3$
 $C_{H_2O} = 0,15 \cdot 25,76 = 3,86 \text{ mol/m}^3$

$p_i = C_i M_i$

$p_{O_2} = C_{O_2} \cdot PM_{O_2} = 32,96 \text{ g/m}^3$
 $p_{N_2} = C_{N_2} \cdot PM_{N_2} = 519,12 \text{ g/m}^3$
 $p_{CO_2} = C_{CO_2} \cdot PM_{CO_2} = 102,08 \text{ g/m}^3$
 $p_{H_2O} = C_{H_2O} \cdot PM_{H_2O} = 69,48 \text{ g/m}^3$

? portata in Nm³/h e in moli/h

$\frac{\dot{V} \cdot P(101326\text{ Pa})}{T(473\text{ K})} = \frac{\dot{V}'' \cdot P(101325\text{ Pa})}{T(273\text{ K})}$
 $\dot{V}'' = \frac{\dot{V} \cdot P(101326\text{ Pa})}{T(473\text{ K})} \cdot \frac{T(273\text{ K})}{P(101325\text{ Pa})} = 1154,6 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$

$\dot{n} = \frac{\dot{V}'' \cdot P}{R \cdot T} = 51512,3 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$

? portata in massa totale in kg/h

$\dot{n}_{O_2} = X_{O_2} \cdot \dot{n} = 0,04 \cdot 51512,3 = 2060,5 \text{ mol/h}$
 $\dot{n}_{N_2} = X_{N_2} \cdot \dot{n} = 0,72 \cdot 51512,3 = 37088,9 \text{ mol/h}$
 $\dot{n}_{CO_2} = X_{CO_2} \cdot \dot{n} = 0,09 \cdot 51512,3 = 4636,1 \text{ mol/h}$
 $\dot{n}_{H_2O} = X_{H_2O} \cdot \dot{n} = 0,15 \cdot 51512,3 = 7726,8 \text{ mol/h}$

$\dot{m}_{O_2} = \dot{n}_{O_2} \cdot PM_{O_2} = 65,9 \text{ kg/h}$
 $\dot{m}_{N_2} = \dot{n}_{N_2} \cdot PM_{N_2} = 1038,5 \text{ kg/h}$
 $\dot{m}_{CO_2} = \dot{n}_{CO_2} \cdot PM_{CO_2} = 204 \text{ kg/h} \rightarrow \dot{m}_{CO_2} = 204 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} \cdot \frac{1}{1000} \frac{\text{t}}{\text{kg}} = 4,90 \frac{\text{t}}{\text{d}}$
 $\dot{m}_{H_2O} = \dot{n}_{H_2O} \cdot PM_{H_2O} = 139,1 \text{ kg/h}$
 $\dot{m}_{tot} = 1447,5 \text{ kg/h}$

2) scarico acquoso
 $C_3H_6O, 100 \text{ ppmwt} \longrightarrow \omega_{C_3H_6O} = \frac{100}{10^6} = 0,0001$

$$C_3H_8O, 200 \text{ ppmwt} \longrightarrow \omega_{C_3H_8O} = \frac{200}{10^6} = 0,0002$$

Tutto il resto è $H_2O \longrightarrow \omega_{H_2O} = 1 - 0,0001 - 0,0002 = 0,9997$
 $99,97\% H_2O \approx 100\%$

? frazione molare composti e COD

$$m_{tot} = 1 \text{ kg}$$

$$n_i = \frac{m_i}{PM_i}$$

$$\omega = \frac{m_i}{m_{tot}} \Rightarrow m_i = m_{tot} \cdot \omega_i$$

$$m_{C_3H_6O} = 0,0001 \text{ kg}$$

$$m_{C_3H_8O} = 0,0002 \text{ kg}$$

$$m_{H_2O} = 0,9997 \text{ kg}$$

$$n_{C_3H_6O} = 0,0001 \text{ kg} \cdot \frac{1}{PM_{C_3H_6O}} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} = 1,72 \cdot 10^{-6} \text{ kmol}$$

$$n_{C_3H_8O} = 0,0002 \text{ kg} \cdot \frac{1}{PM_{C_3H_8O}} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} = 3,33 \cdot 10^{-6} \text{ kmol}$$

$$n_{H_2O} = 0,9997 \text{ kg} \cdot \frac{1}{PM_{H_2O}} \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} = 55539 \cdot 10^{-6} \text{ kmol}$$

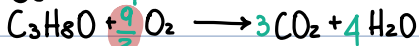
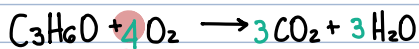
$$n_{tot} = 55544,05 \cdot 10^{-6} \text{ kmol}$$

$$X_{C_3H_6O} = \frac{n_{C_3H_6O}}{n_{tot}} = \frac{1,72 \cdot 10^{-6} \text{ kmol}}{55544,05 \cdot 10^{-6} \text{ kmol}} = 3,1 \cdot 10^{-5}$$

$$X_{C_3H_8O} = \frac{n_{C_3H_8O}}{n_{tot}} = \frac{3,33 \cdot 10^{-6} \text{ kmol}}{55544,05 \cdot 10^{-6} \text{ kmol}} = 6,0 \cdot 10^{-5}$$

? COD

Reazioni di ossidazione:



$$n_{tot} = 10^5 \text{ mol}$$

$$n_{C_3H_6O} = n_{tot} \cdot X_{C_3H_6O} = 3,1 \text{ mol}$$

$$n_{C_3H_8O} = n_{tot} \cdot X_{C_3H_8O} = 6,0 \text{ mol}$$

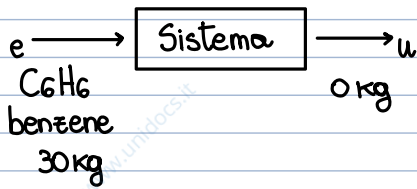
$$n_{O_2} = 4 \cdot n_{C_3H_6O} + 5 \cdot n_{C_3H_8O} = 4 \cdot 3,1 + 4,5 \cdot 6,0 = 39,4 \text{ mol}$$

$$COD = \frac{m_{O_2} [\text{mg}]}{V_{tot} [\text{L}]}$$

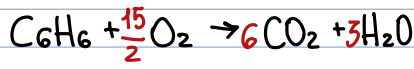
$$m_{O_2} = 39,4 \text{ mol} \cdot PM_{O_2} = 1260,8 \text{ g} = 1260,8 \cdot 10^3 \text{ mg}$$

$$V_{tot} = 10^5 \text{ mol} \cdot PM_{H_2O} = 18 \cdot 10^5 \text{ g} \cdot \frac{1}{1000} \frac{\text{L}}{\text{g}} = 0,018 \cdot 10^5 \text{ L}$$

$$COD = \frac{1260,8 \cdot 10^3 \text{ mg}}{0,018 \cdot 10^5 \text{ L}} = 700,4 \text{ mg/L}$$



Bisogna eliminare il benzene → ossidazione



1) bilanciare la reazione → in ordine C, H e O
 30 kg benzene → ossigeno è 15/2 di C₆H₆ (molare)

2) convertire in moli

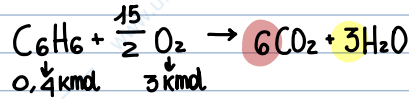
$$PM_{C_6H_6} = (12 \cdot 6) + (1 \cdot 6) = 78 \text{ g/mol} = \text{kg/kmol}$$

$$n_{C_6H_6} = \frac{m}{PM} = \frac{30 \text{ kg}}{78 \text{ kg/kmol}} = 0,39 \text{ kmol} \approx 0,4 \text{ kmol } C_6H_6$$

$$n_{O_2} = n_{C_6H_6} \cdot \frac{15}{2} = 0,4 \cdot \frac{15}{2} = 3 \text{ kmol}$$

$$PM_{O_2} = 16 \cdot 2 = 32 \text{ kg/kmol}$$

$$m_{O_2} = n \cdot PM = 3 \cdot 32 = 96 \text{ kg}$$



$$CO_2^e = 0 \text{ kg}$$

$$H_2O^e = 0 \text{ kg}$$

condizioni in uscita: → non ho ne benzene ne ossigeno → brucio tutto

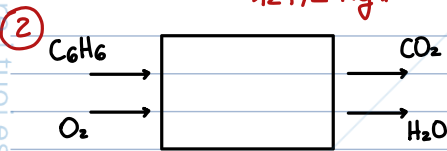
$$n_{(CO_2)}^u = n_{C_6H_6} \cdot 6 = 2,4 \text{ kmol}$$

$$n_{(H_2O)}^u = n_{C_6H_6} \cdot 3 = 1,2 \text{ kmol}$$

$$m_{CO_2}^u = 2,4 \cdot 44 = 105,6 \text{ kg}$$

$$m_{H_2O}^u = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ kg}$$

$$\underline{127,2 \text{ kg}^*}$$



$$n_{C_6H_6}^u = 0 \text{ kmol} \quad n_{CO_2}^u = 2,4 \text{ kmol}$$

$$n_{O_2}^u = 0 \text{ kmol} \quad n_{H_2O}^u = 1,2 \text{ kmol}$$

$$n_{C_6H_6}^e = 0,4 \text{ kmol} \quad \underline{3,6 \text{ kmol TOT}}$$

$$n_{O_2}^e = 3 \text{ kmol}$$

frazioni molari: (quantità in uscita)

$$X_{C_6H_6}^u = \frac{n_{C_6H_6}^u}{n_{tot}} = \frac{0}{3,6} = 0$$

$$X_{O_2}^u = 0$$

$$X_{CO_2}^u = \frac{2,4}{3,6} = 0,66$$

$$X_{H_2O}^u = \frac{1,2}{3,6} = 0,33$$

frazioni massiche: (con kg)

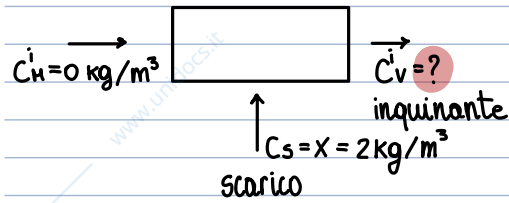
$$W_{C_6H_6}^u = \frac{m_i}{m_{tot}} = 0$$

$$W_{O_2}^u = 0$$

$$W_{CO_2}^u = \frac{105,6}{127,2} = 0,83^*$$

$$W_{H_2O}^u = \frac{21,6}{127,2} = 0,17$$

① scarico industria in un fiume:



• Entra acqua $\rightarrow V = 300 \text{ m}^3$

$$\dot{V} = 300 \text{ m}^3/\text{h}$$

$c_H = 0 \text{ kg/m}^3 \rightarrow$ concentrazione inquinante "i"

inquinante che entra $\Rightarrow p_i = c_i M_i = 300 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0 \text{ kg/m}^3 = 0 \text{ kg/h}$

$$p_s = 2 \cdot 1 = 2 \text{ kg/h}$$

$$c_s = 2 \text{ kg/m}^3$$

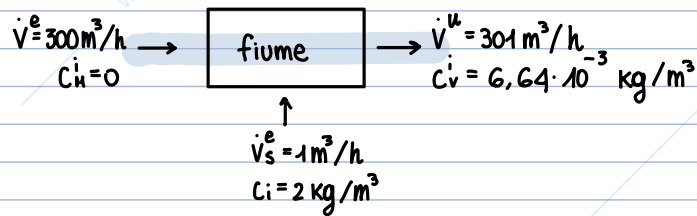
$$HP \rightarrow \dot{M} = 1 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$M_F^u = 300 + 1 = 301 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$c_v = \frac{p_i}{M_F^u} = \frac{2 \text{ kg/h}}{301 \text{ m}^3/\text{h}} = 6,64 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$$

$$p_i = c_i M_i$$

Revisione:



$\rightarrow c_i = 2 \text{ kg/m}^3 \rightarrow c_i^u = 6 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3 \rightarrow$ DILUITO

Quanto deve essere il volume totale per arrivare a questa concentrazione?

concentrazione massica: $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \rho_i = \frac{m_i}{V}$

fisso volume iniziale $\rightarrow 1 \text{ m}^3$

$$\rho_i^e = 2 \text{ kg/m}^3 \quad V = 1 \text{ m}^3 \rightarrow m = \rho V = 2 \text{ kg}$$

$$\rho_i^u = \frac{m_i}{V^u} \rightarrow V^u = \frac{m_i}{\rho_i^u} = \frac{2 \text{ kg}}{6 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3} = 333,33 \text{ m}^3$$

HP \rightarrow non posso costruirla $\rightarrow \text{max} = 100 \text{ m}^3$
? m^u

$$V^u = 100 \text{ m}^3$$

$$m_i^u = \rho_i^u \cdot V^u = 6 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 100 \text{ m}^3 = 0,6 \text{ kg}$$

$$\rho_i^e = 0,6 \text{ kg/m}^3$$

volume = 1 m³

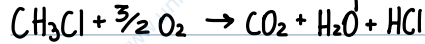
3 Es. corrente monodimensionale: Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

Termo-distruzione di composti clorurati in aria:

$$T = 25^\circ\text{C}$$



inceneritore adiabatico $\rightarrow p$ atm e stazionario



conversione = 99,9%

$$\text{cinetica del primo ordine} \Rightarrow R = k \cdot C_{\text{CH}_3\text{Cl}} \quad k = 5,8 \text{ s}^{-1}$$

? tempo di riempimento (FPM o CH)

1) FPM

$$X = \frac{|n_i^g|}{n_i^e} = \frac{C_i^e - C_i^u}{C_i^e} = 0,999$$

$$\dot{V}^e (C_i^e - C_i) - V k C_i = 0$$

$$(C_i^e - C_i) = (V k / \dot{V}) C_i$$

$$X C_i^e = k \theta (1 - X) C_i^e$$

$$\theta = \frac{X}{k(1-X)} = \frac{0,999}{5,8 \cdot (1-0,999)} = 172,2$$

2) CH

$$X = \frac{C_i^e - C_i^u}{C_i^e} = 0,999 \quad \rightarrow C_i^u \neq C_i$$

$$v \frac{\partial C_i}{\partial x} = - \underbrace{k C_i}_{=R} \quad \rightarrow \quad \frac{\partial C_i}{C_i} = - \frac{k}{v} \partial x \quad \rightarrow \quad \int_{C_i^e}^{C_i} \frac{\partial C_i}{C_i} = - \frac{k}{v} \int_0^x \partial x$$

$$C_i = C_i^e \cdot e^{-\frac{kx}{v}}$$

$$\frac{x}{v} = \theta$$

$$\text{quindi} \rightarrow (1-X) = e^{-k\theta}$$

$$\theta = - \frac{\ln(1-X)}{k} = - \frac{\ln(0,001)}{5,8} = 1,2 \text{ s}$$

metano \rightarrow CH₄

brucia in modo incompleto \rightarrow CO

CH₄ : conversione = 98%

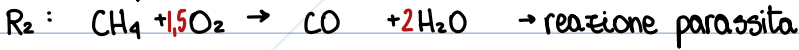
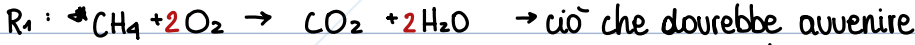
CO : selettività = 1%



1) ? aria necessaria se CH₄ alimentato a 100 kmol/h
 $\dot{n}_{\text{aria}} = ?$

2) ? concentrazione di CO nei fumi in uscita, in ppm_{vol}
 $y_{\text{CO}}^u = ?$

combustione con eccesso di aria del 3%



DATI:

$\dot{n}_{\text{CH}_4}^e = 100$ kmol/h flusso molare

$X_{\text{CH}_4} = 0,98$

$\sigma_{\text{CH}_4-\text{CO}} = 0,01$

$\epsilon_{\text{aria}} = 0,03$

Calcolo aria necessaria:

* $\dot{n}_{\text{O}_2, \text{teorico}} = \dot{n}_{\text{CH}_4} \cdot 2 = 100 \cdot 2 = 200$ kmol/h

\rightarrow eccesso aria = 3% in più

$\dot{n}_{\text{O}_2, \text{effettivo}} = \dot{n}_{\text{O}_2, \text{teorico}} \cdot 1,03 = 200 \cdot 1,03 = 206$ kmol/h

$$\dot{n}_{\text{aria}} = \frac{\dot{n}_{\text{O}_2, \text{effettivo}}}{0,21} = 980,95 \text{ kmol/h}$$

\hookrightarrow 21% ossigeno

Concentrazione di CO nei fumi di uscita:

1% di CH₄ \rightarrow CO

conversione totale 98% $\rightarrow \dot{n}_{\text{CH}_4, \text{convertito}} = \dot{n}_{\text{CH}_4} \cdot 0,98 = 100 \cdot 0,98 = 98$ kmol/h

produzione CO $\rightarrow \dot{n}_{\text{CO}} = \dot{n}_{\text{CH}_4, \text{convertito}} \cdot 0,01 = 98 \cdot 0,01 = 0,98$ kmol/h

$\dot{n}_{\text{tot}} = \dot{n}_{\text{CH}_4, \text{non convertito}} + \dot{n}_{\text{aria}} + \dot{n}_{\text{prodotti}}$

$\dot{n}_{\text{CH}_4, \text{non convertito}} = \dot{n}_{\text{CH}_4} \cdot 0,02 = 100 \cdot 0,02 = 2$ kmol/h

$\dot{n}_{\text{CO}_2} = 98 \cdot 0,99 = 97,02$ kmol/h

$\dot{n}_{\text{H}_2\text{O}} = \begin{cases} \rightarrow \text{combustione completa: } 2 \cdot 97,02 = 194,04 \text{ kmol/h} \\ \rightarrow \text{combustione incompleta: } 2 \cdot 0,98 = 1,96 \text{ kmol/h} \\ \text{tot} = 196 \text{ kmol/h} \end{cases}$

$\dot{n}_{\text{O}_2, \text{eccesso}} = 206 - 200 = 6$ kmol/h

$\dot{n}_{\text{O}_2, \text{effettivo}} = 206$ kmol/h

$\dot{n}_{\text{N}_2} = \dot{n}_{\text{aria}} \cdot 0,76 = 980,95 \cdot 0,76 = 774,95$ kmol/h

$\dot{n}_{\text{tot}} = 2 + 0,98 + 97,02 + 196 + 774,95 + 6 = 1076,95$ kmol/h

$$y_{\text{CO}}^u = \frac{\dot{n}_{\text{CO}}}{\dot{n}_{\text{tot}}} \cdot 10^6 = \frac{0,98}{1076,95} \cdot 10^6 = 910 \text{ ppm}$$

Altro metodo di risoluzione: (meglio)

1) $\dot{n}_{\text{CH}_4, \text{convertito}} = \dot{n}_{\text{CH}_4} \cdot X_{\text{CH}_4} = 100 \cdot 0,98 = 98$ kmol/h

\hookrightarrow il 98% del metano viene convertito

$\dot{n}_{\text{CO}}^u = \dot{n}_{\text{CH}_4, \text{convertito}} \cdot \sigma_{\text{CH}_4-\text{CO}} = 98 \cdot 0,01 = 0,98$ kmol/h

\hookrightarrow 1% del metano produce CO il restante CO₂*

* $\dot{n}_{\text{CO}_2} = \dot{n}_{\text{CH}_4, \text{conv}} \cdot (1 - \sigma_{\text{CH}_4-\text{CO}}) = 98 \cdot 0,99 = 97,02$ kmol/h

$\dot{n}_{\text{O}_2, \text{teo}} = 2 \cdot \dot{n}_{\text{CH}_4, \text{conv}} + 1,5 \cdot \dot{n}_{\text{CO}} = 2 \cdot 97,02 + 1,5 \cdot 0,98 = 194,04 + 1,47 = 195,51$ kmol/h

\hookrightarrow x combustione completa di CH₄ servono 2 moli di O₂. Per la combustione incompleta servono 1,5 moli di O₂ che produce CO.

$\dot{n}_{\text{O}_2, \text{effettivo}} = \dot{n}_{\text{O}_2, \text{teo}} \cdot 1,03 = 195,51 \cdot 1,03 = 201,38$ kmol/h

\hookrightarrow con eccesso del 3%

$$\dot{n}_{N_2}^e = \frac{79}{21} \cdot \dot{n}_{O_2, \text{effettivo}} = \frac{79}{21} \cdot 201,38 = 757,57 \text{ kmol/h} = \dot{n}_{N_2}^u$$

↳ per ogni mole di O₂ ci sono $\frac{79}{21}$ moli di N₂

$$\dot{n}_{aria} = \dot{n}_{O_2, \text{effettivo}} + \dot{n}_{N_2} = 201,38 + 757,57 = 958,95 \text{ kmol/h}$$

$$2) \dot{n}_{CH_4}^u = \dot{n}_{CH_4}^e \cdot (1 - X_{CH_4}) = 100 \cdot 0,02 = 2 \text{ kmol/h}$$

$$\dot{n}_{H_2O}^u = 2 \cdot \dot{n}_{CH_4, \text{conv}} + 2 \cdot \dot{n}_{CO} = 2 \cdot 97,02 + 2 \cdot 0,98 = 194,04 + 1,96 = 196 \text{ kmol/h}$$

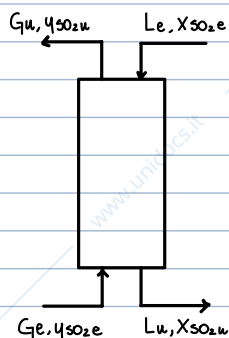
$$\dot{n}_{O_2}^u = \dot{n}_{O_2, \text{effettivo}} - 2 \cdot \dot{n}_{CH_4, \text{conv}} - 1,5 \cdot \dot{n}_{CO} = 201,38 - 2 \cdot 97,02 - 1,5 \cdot 0,98 = 5,87 \text{ kmol/h}$$

$$\dot{n}_{fiumi} = \dot{n}_{CH_4}^u + \dot{n}_{CO}^u + \dot{n}_{CO_2}^u + \dot{n}_{N_2}^u + \dot{n}_{H_2O}^u + \dot{n}_{O_2}^u$$

$$= 2 + 0,98 + 97,02 + 757,57 + 196 + 5,87 = 1059,44 \text{ kmol/h}$$

$$\varphi_{CO}^u = \frac{\dot{n}_{CO}^u}{\dot{n}_{fiumi}^u} \cdot 10^6 = \frac{0,98}{1059,44} \cdot 10^6 = 925 \text{ ppm}$$

② Assorbimento



Abbattimento SO₂ con colonna di assorbimento:

- DATI:
- Portata corrente gas: $\dot{G}_{tot}^e = 200 \text{ Nm}^3/\text{h}$
 - Concentrazione SO₂ in ingresso: $\varphi_{SO_2}^e = 3000 \text{ ppm vol}$
 - Richiesta abbattimento = 99%
 - Rapporto di equilibrio: $y_{SO_2}^e = 30 X_{SO_2}^e$
 - Frazione molare SO₂ in uscita: $X_{SO_2}^u = 30 y_{SO_2}^e$

? = Portata liquido necessaria x assorbimento

$$1) \varphi_{SO_2}^e = y_{SO_2}^e \Rightarrow y_{SO_2}^e = \frac{3000 \text{ ppm}}{10^6} = 0,003 \rightarrow \text{frazione molare in ingresso} \quad \varphi = \frac{\text{ppm}}{10^6}$$

$$\text{in condizioni normali: } \tilde{V} = \frac{V}{n} = \frac{RT}{P} = 0,0224 \text{ Nm}^3/\text{mol}$$

$$\text{Portata molare in mol/h: } \dot{G}_{tot}^e = 200 \cdot \frac{1}{0,0224} = 8929 \text{ mol/h}$$

$$\text{Portata SO}_2 \text{ in ingresso: } \dot{n}_{SO_2}^e = \dot{G}_{tot}^e \cdot y_{SO_2}^e = 8929 \cdot 0,003 = 26,79 \text{ kmol/h}$$

$$\text{(efficienza 99\%)} \quad \text{abbattimento} = \frac{\dot{n}_{SO_2}^e - \dot{n}_{SO_2}^u}{\dot{n}_{SO_2}^e}$$

$$2) \text{ Portata liquido in uscita: } \dot{n}_{SO_2}^u = 0,99 \cdot \dot{n}_{SO_2}^e = 0,99 \cdot 26,79 = 26,52 \text{ kmol/h}$$

$$\dot{n}_{SO_2}^u = \dot{n}_{SO_2}^e (1 - 0,99)$$

$$\dot{n}_{SO_2}^{\text{ass}} = \dot{n}_{SO_2}^e - \dot{n}_{SO_2}^u$$

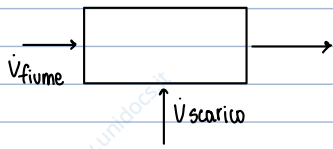
$$3) X_{SO_2}^u = 30 y_{SO_2}^e = 30 \cdot 0,003 = 0,09$$

$$\text{portata molare di liquido in uscita: } \dot{L}_u = \frac{\dot{n}_{SO_2}^u}{X_{SO_2}^u} = \frac{26,52}{0,09} = 294,67 \text{ kmol/h}$$

$$\dot{L}_u = \frac{\dot{n}_{SO_2}^{\text{ass}}}{X_{SO_2}^u}$$

$$4) \dot{L}_e = \dot{L}_u - \dot{n}_{SO_2}^u = 294,67 \text{ kmol/h} - 26,52 \text{ kmol/h} = 268,15 \text{ kmol/h}$$

$$\dot{L}_e = \dot{L}_u - \dot{n}_{SO_2}^{\text{ass}}$$



?= Determinare il COD equivalente di uno scarico contenente fenolo (PhOH)

?= Calcolare portata massima scaricabile nel fiume affinché il COD non superi 160 mg/l

DATI:

Concentrazione fenolo scarico: 0,1% wt (1000 ppm)

$V_{\text{fiume}} = 3 \text{ m}^3/\text{s}$ (3000 l/s)

COD a monte: 25 mg/l

Limite legge COD a valle: 160 mg/l

$M_{\text{PhOH}} = 94 \text{ g/mol}$

1) CALCOLO COD:

$$\text{COD} = \frac{m_{\text{O}_2}}{V_{\text{scarico}}}$$

fenolo in massa: 0,1% wt = 0,001 kg / kg acqua

$$m_{\text{PhOH}} = 0,001 \text{ kg} = 1 \text{ g}$$

$$n_{\text{PhOH}} = 1 \text{ g} \cdot \frac{1}{94 \text{ g/mol}} = 0,0106 \text{ mol}$$

(1 mole di fenolo richiede 7 moli di O_2) $\rightarrow n_{\text{O}_2} = 7 \cdot n_{\text{PhOH}} = 7 \cdot 0,0106 = 0,0742 \text{ mol}$

$$m_{\text{O}_2} = n_{\text{O}_2} \cdot M_{\text{O}_2} = 0,0742 \cdot 32 = 2,3744 \text{ g}$$

$$\text{COD} = 2,374 \text{ mg} / 1 \text{ l} = 2374 \text{ mg/l}$$

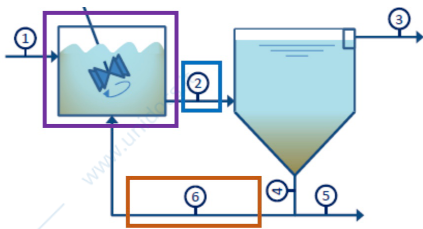
2) CALCOLO PORTATA MASSIMA SCARICABILE:

$$V_{\text{max}} = \frac{m_{\text{inquinante}}}{\text{COD}_{\text{scarico}}}$$

$$m_{\text{ammissibile}} = V_{\text{fiume}} \cdot (\text{COD}_{\text{limite}} - \text{COD}_{\text{fiume}}) = 3000 \cdot (160 - 25) = 3000 \cdot 135 = 405000 \text{ mg/s}$$

$$V_{\text{max}} = 405000 \text{ mg/s} / 2374 \text{ mg/l} = 170,58 \text{ l/s}$$

4) Depurazione acque e fanghi attivi



? = Portata di ricircolo (corrente 6) x ottenere abbattimento richiesto (Conversione Globale = 92%), sapendo che la conversione in uscita dal reattore è del 90%.

DATI:

$$\dot{V}_1 = 30720 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$f_{1, \text{BOD}} = 164,1 \text{ mg/L}$$

$$X_{\text{BOD, glob}} = 92\% = 0,92$$

$$X_{\text{BOD, pass}} = 90\% = 0,90$$

$$\dot{V}_5 = 0$$

$$f_{2, \text{BOD}} = f_{3, \text{BOD}} = f_{4, \text{BOD}}$$

1) BILANCIO GLOBALE DI MATERIA

$$X_{\text{BOD, glob}} = \frac{\dot{m}_{g, \text{BOD}}}{\dot{m}_{1, \text{BOD}}} \rightarrow \text{portata massica di BOD rimosso}$$

→ " " " in ingresso

$$\dot{m}_{1, \text{BOD}} = \dot{V}_1 \cdot f_{1, \text{BOD}} = 30720 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 164,1 \text{ mg/L} = 30720 \cdot 10^3 \text{ L/d} \cdot 164,1 \cdot 10^{-6} \text{ kg/L} = 5030,7 \text{ kg/d}$$

$$\dot{m}_{g, \text{BOD}} = X_{\text{BOD, glob}} \cdot \dot{m}_{1, \text{BOD}} = 0,92 \cdot 5030,7 \text{ kg/d} = 4628,24 \text{ kg/d}$$

2) BILANCIO DI MATERIA PER PASSAGGIO NEL REATTORE:

$$X_{\text{BOD, Pass}} = \frac{\dot{m}_{g, \text{BOD}}}{\dot{m}_{1, \text{BOD}} + \dot{m}_{6, \text{BOD}}} \rightarrow \text{portata massica di BOD nella corrente di ricircolo}$$

$$\dot{m}_{2, \text{BOD}} = \dot{m}_{1, \text{BOD}} + \dot{m}_{6, \text{BOD}} - \dot{m}_{g, \text{BOD}}$$

$$\dot{m}_{2, \text{BOD}} = \dot{m}_{6, \text{BOD}} + \dot{m}_{3, \text{BOD}} \rightarrow \text{non si verifica rimozione di BOD}$$

$$\dot{m}_{6, \text{BOD}} = \dot{m}_{3, \text{BOD}}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_{2, \text{BOD}} = (1 - X_{\text{BOD, Pass}}) \cdot (\dot{m}_{1, \text{BOD}} + \dot{m}_{6, \text{BOD}}) =$$

$$= (1 - 0,90) \cdot (5030,7 \text{ kg/d} + \dot{m}_{6, \text{BOD}}) =$$

$$= 503,07 + 0,10 \cdot \dot{m}_{6, \text{BOD}}$$

$$= (0,10 (\dot{m}_{1, \text{BOD}} + \dot{m}_{6, \text{BOD}}))$$

$$\dot{m}_{6, \text{BOD}} + \dot{m}_{3, \text{BOD}} = 503,07 + 0,10 \cdot \dot{m}_{6, \text{BOD}}$$

$$\dot{m}_{3, \text{BOD}} = (1 - X_{\text{BOD, glob}}) \cdot \dot{m}_{1, \text{BOD}} = (1 - 0,92) \cdot 5030,7 \text{ kg/d} = 402,46 \text{ kg/d}$$

$$\dot{m}_{6, \text{BOD}} = \frac{0,1 \cdot \dot{m}_{1, \text{BOD}} - \dot{m}_{3, \text{BOD}}}{0,90} = \frac{503,07 - 402,46}{0,90} = 111,78 \text{ kg/d}$$

3) PORTATA VOLUMETRICA DI RICIRCOLO

$$f_{\text{BOD}} = 13,1 \cdot 10^{-6} \text{ kg/L}$$

$$\dot{V}_6 = \frac{\dot{m}_{6, \text{BOD}}}{f_{6, \text{BOD}}} = \frac{111,78 \text{ kg/d}}{13,1 \cdot 10^{-6} \text{ kg/L}} = 8534,35 \text{ m}^3/\text{d}$$

4) PORTATA VOLUMETRICA IN USCITA

$$\dot{V}_2 = \dot{V}_1 + \dot{V}_6$$

$$\dot{V}_2 = 30720 + 8534,35 = 39254,35 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$RR = \frac{\dot{V}_6}{\dot{V}_2} \approx 0,22$$

rapporto tra la portata volumetrica di ricircolo e la portata volumetrica totale in uscita dal reattore

⑤ Depurazione acque città - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

120'000 abitanti:

richiesta biochimica di O₂ a 5 giorni (BOD₅)

- 1) Portata volumetrica acqua alimentata all'impianto di depurazione
- 2) Il carico organico alimentato all'impianto di depurazione in kg/d e mg/l di BOD₅
- 3) Il carico organico alimentato all'impianto biologico + fanghi attivi in kg/d e mg/l di BOD₅
- 4) Il carico organico nell'acqua decantata uscente dal sedimentazione secondario in kg/d e mg/l di BOD₅

DATI:

120'000 AE

dotazione idrica: 320 l/AE · d

80% dotazione → acque nere

BOD₅: 60 g/AE · d

30% di BOD₅ abbattuto nei trattamenti preliminari e primari

92% di BOD₅ abbattuto nel trattamento a fanghi attivi

1. CALCOLO PORTATA VOLUMETRICA H₂O ALIMENTATA ALL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE:

$$\dot{V}_1 = AE \cdot \text{dotazione idrica} \cdot \text{percentuale di acque nere}$$

$$= 120'000 \cdot 320 \cdot 0,80 = 30,720 \text{ m}^3/\text{d}$$

2. CALCOLO CARICO ORGANICO ALIMENTATO ALL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE

$$\dot{m}_{1,BOD} = AE \cdot BOD_5 = 120'000 \text{ AE} \cdot 60 \text{ g/AE} \cdot \text{d} = 7,2 \cdot 10^6 \text{ g/d} = 7200 \text{ kg/d} \quad \rightarrow \text{carico organico in kg/d}$$

$$\rho_{1,BOD} = \frac{\dot{m}_{1,BOD}}{\dot{V}_1} = \frac{7200 \text{ kg/d}}{30,72 \cdot 10^6 \text{ l/d}} = \frac{7200 \cdot 10^3 \text{ g/d}}{30,72 \cdot 10^6 \text{ l/d}} = 234,4 \text{ mg/l} \quad \rightarrow \text{carico organico in mg/l}$$

$$3. \dot{m}_{1,BOD} - \dot{m}_{2,BOD} - \dot{m}_{3,BOD} = \dot{m}_{1,BOD} - \dot{m}_{2,BOD} - 0,30 \dot{m}_{1,BOD} = 0$$

$$\dot{m}_{2,BOD} = \dot{m}_{1,BOD} - 0,30 \dot{m}_{1,BOD} = (1 - 0,30) \dot{m}_{1,BOD}$$

$$= 0,70 \cdot 7200 \text{ kg/d} = 5040 \text{ kg/d}$$

→ il 30% viene abbattuto, quindi solo il 70% del carico organico iniziale arriva all'impianto

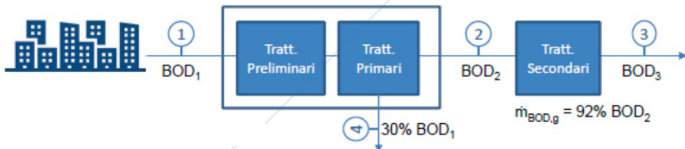
$$\rho_{2,BOD} = \frac{\dot{m}_{2,BOD}}{\dot{V}_1} = \frac{5040 \cdot 10^3 \text{ g/d}}{30,72 \cdot 10^6 \text{ l/d}} = 164,1 \text{ mg/l}$$

$$4. \dot{m}_{2,BOD} - \dot{m}_{3,BOD} + \dot{m}_g = \dot{m}_{2,BOD} - \dot{m}_{3,BOD} - 0,92 \dot{m}_{2,BOD} = 0$$

$$\dot{m}_{3,BOD} = \dot{m}_{2,BOD} - 0,92 \dot{m}_{2,BOD} = (1 - 0,92) \dot{m}_{2,BOD} = 0,08 \cdot 5040 \text{ kg/d} = 403,2 \text{ kg/d}$$

$$\dot{m}_{3,BOD} = (1 - X_{BOD,Pass}) \cdot \dot{m}_{2,BOD}$$

$$\rho_{3,BOD} = \frac{\dot{m}_{3,BOD}}{\dot{V}_1} = \frac{403,2 \cdot 10^3 \text{ g/d}}{30,72 \cdot 10^6 \text{ l/d}} = 13,1 \text{ mg/l}$$



⑥ Cottura degradazione vitamina C

? perdita di vitamina C durante cottura di verdure:

DATI:

tempo di riduzione decimale (D) a 100°C: D = 632 min

tempo di cottura: t_{cottura} = 30 min

degradazione vitamina C → cinetica del primo ordine

1) COSTANTE DI DEGRADAZIONE:

$$D = \frac{\ln(10)}{k}$$

$$\ln(10) = 2,303 \Rightarrow k = \frac{\ln(10)}{D} = \frac{2,303}{632 \text{ min}} = 0,00364 \text{ min}^{-1}$$

2) CONCENTRAZIONE VITAMINA C DOPO LA COTTURA:

$$c(t) = c_0 e^{-kt}$$

3) PERDITA DI VITAMINA C: $\frac{c(t)}{c_0} = e^{-kt}$

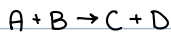
$$1 - \frac{c(t)}{c_0} = 1 - e^{-kt}$$

$$kt = 0,00364 \text{ min}^{-1} \cdot 30 \text{ min} = 0,1092$$

$$e^{-kt} = e^{-0,1092} \approx 0,8969$$

$$\rightarrow 1 - e^{-kt} = 1 - 0,8969 = 0,1031 \quad (10,3\%)$$

7) Abbattimento reattivo di un inquinante:



$$K = 0,033 \text{ L/mol} \cdot \text{s}$$

$$\dot{V}_A = 14,4 \text{ m}^3/\text{h} \quad C_A = 0,02 \text{ mol/L}$$

$$\dot{V}_B = 3,6 \text{ m}^3/\text{h} \quad C_B = 1 \text{ mol/L}$$

? volume x conversione 95% di A

? volumi V_1 e V_2 di 2 tini x stessa conversione globale, imponendo che nel 1° tino sia al 70%.

1) VOLUME REATTORE

$$\dot{V} = \dot{V}_A + \dot{V}_B = 14,4 + 3,6 = 18 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C_A^e = \frac{\dot{V}_A \cdot C_A}{\dot{V}} = \frac{14,4 \cdot 0,02}{18} = 0,016 \text{ mol/L}$$

bilancio massa concentrazioni

$$\dot{V}_{\text{tot}} C_A^e = \dot{V}_A C_A + \dot{V}_B C_{A,B} \rightarrow C_{A,B} = 0 \text{ (corrente B non contiene A)}$$

$$C_B^e = \frac{\dot{V}_B \cdot C_B}{\dot{V}} = \frac{3,6 \cdot 1}{18} = 0,2 \text{ mol/L}$$

$$\text{conversione } (X_A) \rightarrow X_A = \frac{C_A^e - C_A}{C_A^e} = \frac{0,016 - 0,02}{0,016} = 0,95$$

$$\dot{V} C_A^e X_A = V K C_A C_B \rightarrow \dot{V} C_A^e X_A = V K C_A^e (1 - X_A) (C_B^e - C_A^e X_A)$$

$$\theta = \frac{V}{\dot{V}} = \frac{X_A}{K(1 - X_A)(C_B^e - C_A^e X_A)} = \frac{0,95}{0,033(1 - 0,95)(0,2 - 0,016 \cdot 0,95)} = 3118,83 \text{ s} = 0,866 \text{ h}$$

$$V = \theta \cdot \dot{V} = 0,866 \text{ h} \cdot 18 \text{ m}^3/\text{h} = 15,57 \text{ m}^3$$

2) $X_{A,1} = 70\% = 0,70$

$$\textcircled{1} \theta_1 = \frac{X_{A,1}}{K(1 - X_{A,1})(C_B^e - C_A^e X_{A,1})} = \frac{0,70}{0,033(1 - 0,70)(0,2 - 0,016 \cdot 0,70)} = 373,52 \text{ s} = 0,104 \text{ h}$$

$$V_1 = \theta_1 \cdot \dot{V} = 0,104 \text{ h} \cdot 18 \text{ m}^3/\text{h} = 1,872 \text{ m}^3$$

$$C_{A,1} = C_A^e (1 - X_{A,1}) = 0,016(1 - 0,70) = 0,048 \text{ mol/L}$$

$$C_{B,1} = C_B^e - C_A^e X_{A,1} = 0,2 - 0,016 \cdot 0,70 = 0,1888 \text{ mol/L}$$

$$\textcircled{2} X_{A,2} = \frac{X_A - X_{A,1}}{1 - X_{A,1}} = \frac{0,95 - 0,70}{1 - 0,70} = 0,833$$

$$\theta_2 = \frac{X_{A,2}}{K(1 - X_{A,2})(C_{B,1} - C_{A,1} X_{A,2})} = \frac{0,833}{0,033(1 - 0,833)(0,1888 - 0,048 \cdot 0,833)} = 817,09 \text{ s} = 0,227 \text{ h}$$

$$V_2 = \theta_2 \cdot \dot{V} = 0,227 \text{ h} \cdot 18 \text{ m}^3/\text{h} = 4,086 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tot}} = V_1 + V_2 = 1,872 + 4,086 = 5,958 \text{ m}^3$$

8) Sterilizzatore:

DATI:

$$\dot{V} = 300 \text{ L/h}$$

$$T = 121^\circ\text{C}$$

$$D = 0,2 \text{ min}$$

* abbattere concentrazione inquinanti di 12 ordini di grandezza

* cinetica del 1° ordine

$$K = \frac{\ln(10)}{D} = \frac{\ln(10)}{0,2} = 11,5 \text{ min}^{-1}$$

CM \rightarrow Reattore tubolare: $\ln\left(\frac{C_u}{C_e}\right) = -K\theta$

$$\frac{C_u}{C_e} = 10^{-12}$$

$$\ln(10^{-12}) = -K\theta \Rightarrow -12 \ln(10) = -11,5 \theta \Rightarrow \theta = \frac{12 \ln(10)}{11,5} = 2,2 \text{ min}$$

$$V = \theta \cdot \dot{V} = 2,2 \cdot 0,15 \text{ m}^3/\text{min} = 0,33 \text{ m}^3 \rightarrow \text{molto pi\`u piccolo}$$

FPM \rightarrow

$$\frac{C_e - C_u}{C_u} = K\theta \rightarrow \frac{C_e}{C_u} = 10^{12}$$
$$\theta = \frac{10^{12} - 1}{11,5} = \frac{10^{12}}{11,5} = 8,7 \cdot 10^{10} \text{ min}$$

$$V = \theta \cdot \dot{V} = 1,3 \cdot 10^{11} \text{ m}^3$$