

Fondamenti e Applicazioni di Ingegneria di Processo - Modulo 2

Esame del 06/09/2023

Un gassificatore è alimentato con cippato di legno per produrre gas di gassificazione alla temperatura di 890°C e pressione atmosferica (101325 Pa) da inviare a successivi stadi di separazione (condensatore di acqua e membrana per separazione di H₂).

Per i calcoli si assuma efficienza unitaria di gassificazione del combustibile, ad eccezione del contenuto di ceneri.

Dati:

Umidità cippato tal quale:	%U=15.0%
Analisi elementare su base secca:	%C=42; %H=10; %N=1.8; %S=0.2; %O=45; %A=1.0 (ceneri)
Portata di combustibile tal quale:	M _f = 520 kg/h
Portata aria gassificazione:	M _a = 1040 kg/h
Composizione gas gassificazione:	Y _{CO2} =0.14, Y _{CO} =0.16; Y _{H2} =0.22; Y _{N2} =0.30; Y _{CH4} =0.03; Y _{H2O} =0.15
Λ=2270 kJ/kg	calore latente vaporizzazione H ₂ O
Π= 1.0 10 ⁻⁴ mol/m/s/Pa	permeabilità H ₂
δ=5 μm	spessore membrana
S _{memb} =10 m ²	superficie membrana
P _{perm} =1000 Pa	pressione permeato

$$PCS = 32246 \frac{\%C}{100} + 137927 \left[\frac{\%H}{100} - 0.125 \frac{\%O}{100} \right] + 8980 \frac{\%S}{100} \quad \text{kJ/kg}$$

Calcolare:

1. l'aria stechiometrica di combustione del cippato (kg_a/kg_{dry}) punti 3
2. il potere calorifico inferiore del combustibile (MJ/kg_{dry}) punti 4
3. il fattore di equivalenza del gassificatore punti 4
4. la portata massica di acqua separata dal condensatore (kg/h) punti 4
5. la portata molare di H₂ separata dalla membrana (kmol/h) punti 7
6. la frazione molare residua di H₂ nel retentato punti 3

$$1) \text{ mol } O_2 = \left(\frac{\%C}{12} + \frac{\%H}{4} + \frac{\%N}{14 \times 2} + \frac{\%S}{32} \right) \frac{1}{100} = 0,0466$$

$$\text{mol air} = \text{mol } O_2 / 0,21 = 0,222 \frac{\text{mol}}{\text{g}}$$

$$\text{massa air} = \text{mol air} \times 28,8 = 6,40 \frac{\text{g}}{\text{g}} = 6,40 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

$$2) \text{ PCS} \xrightarrow{\text{formula}} 19595 \text{ KJ/kg}$$

acqua da combustione

$$m_{H_2O} = \frac{\%H}{100} \times \frac{18}{2} = 0,90 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

$$PCI = PCS - m_{H_2O} \times \lambda = 17552 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} = 17,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

$$3) F_{\text{equival}} = \frac{\dot{m}_{\text{air}}}{\dot{m}_{\text{air,stech}}} = \frac{1040}{520 \left(1 - \frac{10}{100}\right) 6,40} = 0,368$$

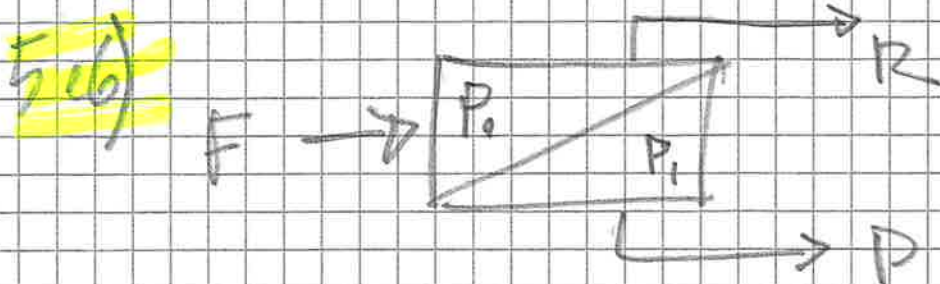
$$4) \text{ Perfezioni gas} = 1040 + 520 \left(1 - \frac{10}{100}\right) \left(1 - \frac{1}{100}\right) + 520 \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 1555 \text{ kg/h}$$

$$\text{PM syngas} = 22,66 \text{ g/mole (media pesante)}$$

$$Portata molar \dot{g} \rightarrow: \frac{1555}{22,66} = 68,65 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$Portata molar \text{H}_2\text{O}: 68,65 \times 0,15 = 10,30 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$P. massica \text{H}_2\text{O}: 10,30 \times 18 = 185,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



$$\begin{cases} F = R + P \\ F Y_{\text{H}_2}^F = R Y_{\text{H}_2}^R + P \\ P = \pi \frac{S}{8} \left(P_0 \frac{Y_{\text{H}_2}^F + Y_{\text{H}_2}^R}{2} - P_1 \right) \end{cases}$$

incognite R ; P ; $Y_{\text{H}_2}^R$

Si risolve per sostituzione
o per tentativi

$$F = 68,65 - 10,30 = 58,35 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$Y_{\text{H}_2}^F = 0,22 \times \frac{68,65}{58,35} = 0,259$$

da cui

$$P = 3,20 \cdot \frac{\text{mol}}{\text{s}} = 11,51 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$R = 58,35 - 11,51 = 46,84 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$Y_{\text{H}_2}^R = \frac{0,259 \times 58,35 - 11,51}{46,84} = 0,077$$