

POLITECNICO DI TORINO

ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

Prima sessione – ANNO 2008

Settore INDUSTRIALE - Classe 33/S Ingegneria Energetica e nucleare

Terza prova (prova pratica del 23-7-2008)

Un generatore di vapore utilizza, per produrre vapore, i fumi prodotti dalla combustione di rifiuti solidi urbani (rsu) e quelli eventualmente prodotti in sede di post-combustione di gas naturale.

La post-combustione deve permettere di assicurare il mantenimento delle temperature delle pareti ad un valore definito (900 °C) compensando la potenza dispersa. Il vapore prodotto è utilizzato per esercire un impianto per produrre energia elettrica da immettere in rete. Il ciclo è Rankine-Hirn con semplice surriscaldamento

Il generatore di vapore è del tipo a circolazione naturale ed ha un economizzatore, un evaporatore e un surriscaldatore.

Alla combustione dei rifiuti nella camera di combustione primaria (figura) segue una camera di post-combustione (camera secondaria). Lo scambio termico in questi due ambienti è solo per irraggiamento verso le pareti costituite da mattoni refrattari. Nelle regioni interessate dal surriscaldatore ed dall'evaporatore domina l'irraggiamento. Nella regione occupata dall'economizzatore lo scambio termico è controllato dalla convezione.

L'impianto è caratterizzato dai seguenti dati di progetto:

Grandezza	simbolo	valore	Unità di misura
Portata di alimentazione rifiuti	\dot{m}_c	75	t/giorno
Rapporto aria teorica/combustibile	a_t	3.5	kg/kg _c
Frazione in massa di ceneri nel combustibile	f_{ceneri}	0.23	
Potere calorifico medio	H	2100	Kcal/kg
Portata vapore	\dot{m}_v	8	t/h
Pressione di riferimento per il corpo cilindrico	p	34	bar
Temperatura di ingresso acqua nell'economizzatore	$T_{wi,in,eco}$	130	°C
Temperatura di uscita dell'acqua dall'economizzatore	$T_{w,out,eco}$	175	°C
Temperatura del vapore surriscaldato in uscita dal surriscaldatore	$T_{v,out,surr}$	320	°C
Temperatura del vapore nel condensatore	$T_{v,cond}$	40	°C

Sono anche note le seguenti informazioni:

Grandezza	simbolo	valore	Unità di misura
Indice d'aria	n	2	-
Temperatura di riferimento per l'alimentazione del combustibile, e del comburente	t_0	25	°C
Superficie della griglia su cui è caricato il combustibile	A_g	15	m ²
Temperatura delle pareti della camera primaria	t_{pr}	900	°C
Superficie della camera di combustione primaria	A_{pr}	100	m ²
Volume della camera di combustione primaria	V_{pr}	60	m ³
Costante di Stefan- Boltzmann	σ	$5.67 \cdot 10^{-8}$	W/(m ² K ⁴)
Emissività fumi- parete	ϵ_{fp}	0.3	
Calore specifico medio dei fumi	c_{pf}	1.2	kJ/(kg*K)
Densità dei fumi in condizioni normali	ρ_{fn}	1.272	kg/m ³
Temperatura di riferimento per le pareti della camera di postcombustione	t_{post}	900	°C
Superficie della camera di post-combustione	A_{pc}	70	m ²
Volume della camera di post-combustione	V_{pc}	45	m ³
Densità apparente del combustibile sulla griglia	ρ_c	200	kg/m ³
Spessore medio dello strato di combustibile su griglia	s	0.5	m
Flusso termico disperso dalle pareti camera di combustione primaria e di post-combustione	q''_d	1.7	kW/(m ²)
Composizioni di riferimento per il combustibile (frazione in peso)			
carbonio	x_c		0.27
idrogeno	x_H		0.036
ossigeno	x_O		0.202
zolfo	x_s		0.002
azoto	x_n		0.00
acqua	x_{H_2O}		0.26
ceneri	x_{ceneri}		0.23

Determinare:

- la portata di ceneri associata al processo di combustione nell'ipotesi di trascurare la frazione delle ceneri volatili trascinata dai fumi;
- la portata dei fumi;
- la temperatura adiabatica (teorica) di combustione;
- la temperatura media dei fumi in camera di combustione;

- la potenza termica al focolaio;
- il carico termico superficiale riferito alla superficie della griglia
- il tempo di residenza dei rifiuti sulla griglia;
- il carico termico volumetrico sulla griglia;
- il tempo di residenza dei fumi nella camera di combustione;
- la temperatura media in camera di post-combustione;
- la potenza termica da fornire in sede di post-combustione;
- il tempo di residenza dei fumi nella camera di post-combustione.
- Rappresentare il ciclo termodinamico valutandone il rendimento sulla base delle informazioni delle proprietà termodinamiche dell'acqua riportate in tabella.
- Determinare la temperatura dei fumi allo scarico del generatore di vapore
- Discutere come studiare le potenze rimosse dal surriscaldatore, evaporatore, economizzatore ai fini del progetto di tali componenti;
- Sulla base della composizione media di riferimento per il combustibile, valutare la composizione dei fumi prodotti dal processo di combustione e discutere i potenziali sistemi di abbattimento degli inquinanti.

Proprietà termodinamiche di riferimento per l'acqua

Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Liquid Density (kg/m ³)	Vapor Density (kg/m ³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
40.000	0.0073849	992.18	0.051242	167.53	2573.5	0.57240	8.2555
240.90	3.4000	812.10	17.018	1041.8	2802.9	2.7102	6.1360

Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
130.00	3.6000	936.56	548.64	1.6314
175.00	3.6000	894.03	742.45	2.0871
320.00	3.3000	13.043	3036.0	6.5721

IMPIANTO DI INCENERIMENTO

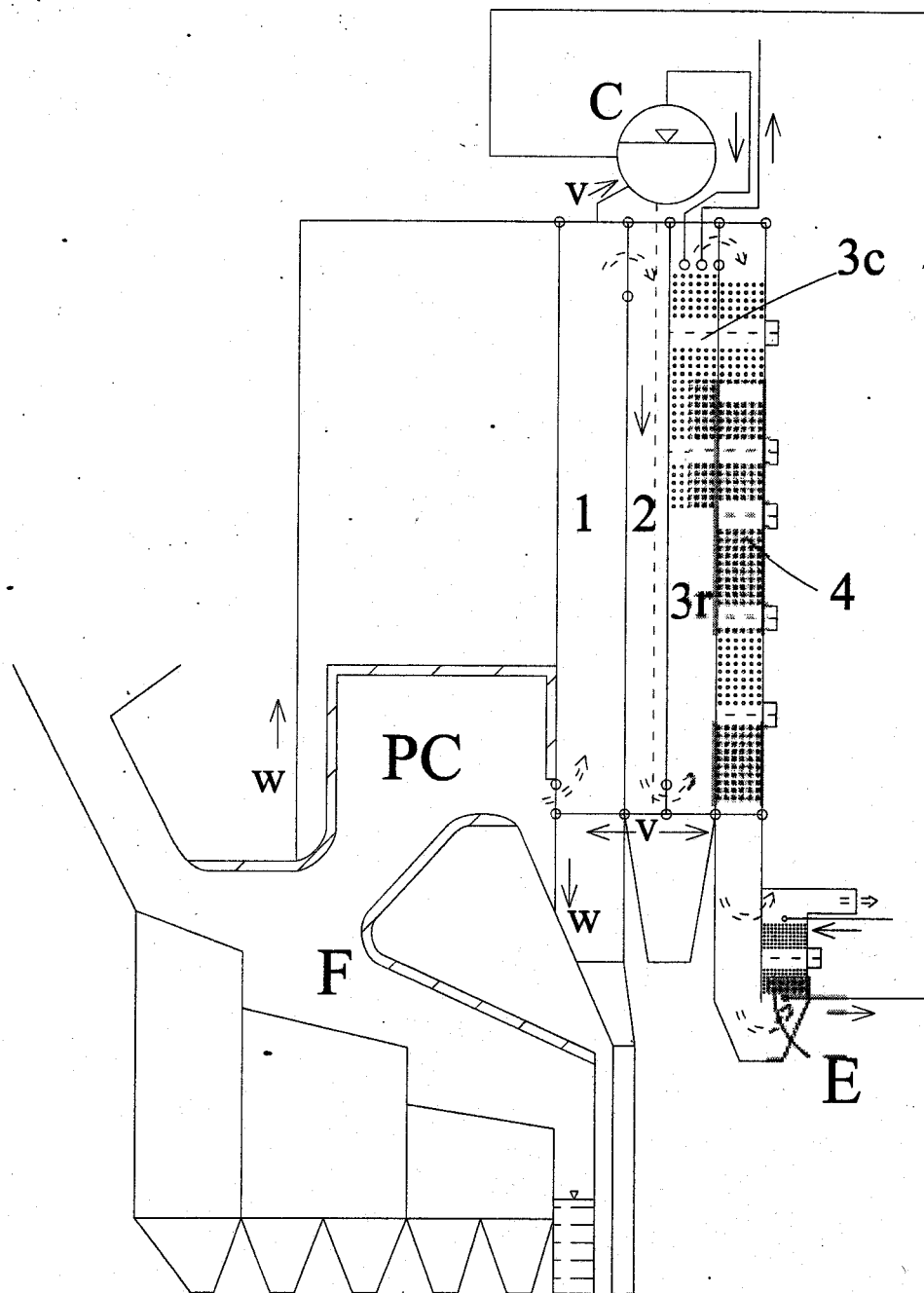


Fig. 1.2 - Schema del generatore di calore: F camera primaria di combustione, PC camera secondaria di combustione (postcombustore), 1 primo canale, 2 secondo canale, 3 terzo canale (r zona a irraggiamento, c zona a convezione con surriscaldatore), 4 quarto canale, E economizzatore, V tubi evaporatori, W ingresso e uscita per i tubi evaporatori immersi nel refrattario in F (water jacket), S soffiatori di vapore.