The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering, Vol.13, No3, 2013

دراسة عملية لتحليل غازات الاحتراق وحساب الطاقة الحرارية المفقودة لمولد بخار المحطة البخارية (Didacta – Italia)

Dr. Hashim Abed Hussain Electromech. Eng. Dep. / Univ. of Tech

الخلاصة :-

يختص هذا البحث بدراسة وتحليل غازات الاحتراق باستخدام جهاز اورسات وحساب خسائر الطاقة الحرارية في وحدة انتاج بخارالمحطة البخارية. تضمنت هذه الدراسة قياس عملي للنسب والحصص المولية والكتلية لنواتج غازات احتراق الوقود المستخدم الخارجة الى الجو عبر العادم وحساب الطاقة الحرارية المفقودة الخارجة مع تلك الغازات الى الجو . ان الطاقة الحرارية الكلية المفقودة في وحدة توليد البخار تم تقسيمها إلى : (1)– فواقد العادم بالمعنى الشامل وهي تشمل :– أ– الطاقة الحرارية المحمولة مع الغازات المغادرة إلى الجو عبر المدخنة ، ب – الطاقة الكيميائية للوقود غير المحترق والمغادر إلى الجو عبر المدخنة ، (2) – فواقد التبادل التقني بالمعنى الشامل وهي فواقد التسربات في الانابيب والضياعات في الماء الساخن او في البخار المغادر لمولد البخار. تم إجراء هذه الدراسة على المحطة البخارية الايطالية المشاء في جامعة دمشق والمخصصة للأبحاث العلمية الخاصة بمحطات الطاقة . تم بناء برنامج حسابي بلغة فورتران 90 لحساب تراكيز الخليط الغازي لمنتجات احتراق الوقود المستخدم وتم حساب مقدار نسب وجودها والحصص الكتلية والتراكيب المولية وكانت نتائج حساب خسائر الطاقة الحرارية المصاحبة لنواتج الاحتراق في المدخنة 179.147kj/kg وكانت نتيجة الحساب للطاقة الحرارية عند احتراق 1 كغم من وقود المازوت السوري (25.466 kW) أما نتيجة حساب معدل التدفق الكتلي لغازات الاحتراق لمولد البخار للمحطة كانت 430 kg/h .

الكلمات الدالة: محطات بخارية ، خسائر الطاقة ، مولدات بخار ، احتراق

AN EXPERIMENTAL STUDY TO ANALYZE THE BURNING GASSES AND CALCULATION OF THE HEAT LOSSES FROM STEAM GENERATOR OF DIDACTA –ITALIA POWER PLANT

Abstract

The present work is devoted to experimental measurement of combustion gasses and calculation of the energy losses with leaving gasses during exhaust nozzle for furnace of boiler Didacta-Italia power plant. The energy losses are presented by (1) – the comprehensive energy losses as, a – the losses energy with outlet exhaust gasses to the atmosphere, b - the fuel chemical energy which are not burned. (2) The comprehensive exchange losses due to the losses of water pipe leakage and the losses in steam or hot water leaving the boiler. By use of ORSAT device the combustion gasses are analyzed to calculate the percentage of concentration and molars of volumes of these gasses and N_2) , the result of calculation for the energy losses leaving with the gasses was (179.147 kj/kg) .Theoretical heat amount produced by combustion of fuel (gas oil) and the heat amount released by combustion gasses of steam in the boiler are also calculated , the difference between theme represent the steam generation unit losses .The comprehensive energy losses in steam generation unit for one Kg of fuel was (25.466 kW). Also the mass flow rate of burning gasses is calculated which was (430 kg /h).

Keywords: Steam power plants, Energy losses, Boilers, Combustion.

الرموز والمصطلحات

الرمز	التعريف	وحدة القياس
D_6	عداد مياه التدفق	m^3/h
$G_{c.g.}$	التدفق الكتلي لنواتج الاحتراق	Kg/h
G_v	معدل جريان البخار عبر مقياس تدفق البخار	Kg/h
G_F	معدل استهلاك الوقود (المازوت)	Kg/h
g_k	الحصص الكتلية لغازات العادم	Kg/h
H_i	القيمة الحرورية الدنيا للوقود (المازوت) = 41500	KJ/Kg
h	انثالبي البخار	KJ/Kg
i_k	الانثالبي النوعي الكتلي للعنصر k من خليط غازات العادم	KJ/Kg
i_{mix}	الانثالبي النوعي الكتلي لخليط الغازات الذي هوغازات العادم	KJ/Kg
k_i	عدد كيلو مولات العنصر في المزيج	-
$M_{f.w.}$	التدفق الكتلي للماء	Kg/h
$M_{lost_{water}}$	تدفق المياه المتسربة من المرجل	Kg/h
$M_{exhaust}$	التدفق الكتلي لمنتجات الاحتراق (للعادم)	Kg/h
Q_F	كمية الحرارة النظرية المقدمة من قبل الوقود	KJ/Kg
Q_v	كمية الحرارة الفعلية المكتسبة من قبل البخار	KJ/Kg
Q_{lost}	فواقد الحرارة الاجمالية في مولد البخار	KJ/Kg
$Q_{chemeny}$	فواقد نواتج الاحتراق	KJ/Kg
$Q_{lost\ withwaterleakage}$	فواقد التبادل التقني الشامل	KW
$Q_{lost\ chemeny}$	فواقد المدخنة بالمعنى الشامل	KW
$V_{f.w.}$	معدل التدفق الحجمي لمياه تغذية المرجل	m^3/h
$v_{f.w.}$	حجم الماء النوعي	m^3/kg
Greek symbol		
ρ_F	كثافة الوقود (كثافة الوقود السوري = 840)	Kg/m^3
η_b	كفاءة المرجل (مولد البخار)	–
$\tau_{b.p.}$	زمن تدفق المياه عبر عداد تغذية المياة الى المرجل	$min.$

1 . المقدمة

تعتبر وحدة توليد البخار الجزء الرئيسي في وحدات محطات التوليد البخارية كما هي موضحة في الشكل رقم (1) حيث يقوم بتحويل الطاقة الموجودة في الوقود إلى حرارة يحملها البخار الذي يقوم بدوره بتدوير التوربين وبالتالي المولد الكهربائي لإنتاج الطاقة الكهربائية فهو المصدر الثابت الذي يغذى التوربين بالبخار ويركب بغرفة الاحتراق الحراق (burner) وهى مصدر اللهب أو الاحتراق الناتج من احتراق الوقود والهواء وتنتقل الحرارة إلى الأنابيب بواسطة التوصيل بالاشعاع وتنتقل الحرارة إلى المياه داخل الأنابيب بواسطة التوصيل. فعند عملية الاحتراق يخرج الغاز العادم من غرفة الاحتراق [Salatino1998] . إن كل حرارة غازات العادم تذهب إلى الجو عن طريقين هما : الأول عن طريق جدران المدخنة إلى داخل المبنى وإلى خارجه؛ والثاني عبر انطلاق هذه الغازات من نهاية المدخنة مباشرة إلى الجو. تحسب الحرارة الضائعة عن طريق المدخنة كفرق إنتالبيي غازات العادم بين مدخلها ومخرجها الافتراضي (عندما تصبح درجة حرارتها مسا وية لدرجة حرارة الجو والتي ستفترضها مساوية لدرجة حرارة هواء قاعة المحطة عند مدخل الحراق) . إن تحديد فواقد الحرارة نتيجة عبور غازات العادم الداخلة إلى المدخنة إلى الجو يتم عن طريق تحليل غازات العادم اما بواسطة جهاز اورسات أو بواسطة المقياس الالكتروني وقياس درجة حرارة غازات العادم عند بداية المدخنة [Scala2006 ، Astrom2000].

2- الجزء النظري (Theoretical part)

يتضمن الجزء النظري بناء المعادلات الرياضية لأهم المتغيرات الداخلة والخارجة لوحدة توليد البخار والمعادلات الخاصة بنواتج غازات الاحتراق ومعادلات حساب الخسائر بالطاقة الحرارية المفقودة نتيجة الاحتراق ونتيجة التبادل التقني الشامل في وحدة توليد البخار .

المعادلات الرياضية الحاكمة للمتغيرات المؤثرة على احتراق الوقود

تحتوي غرفة احتراق الوقود لتوليد الطاقة الحرارية على متغيرات كثيرة ومترابطة فيما بينها ويمكن تلخيصها بمعادلات رئيسية [Okasha2007, Franke2002] :-

$$\frac{d(m_g H_{fg})}{dt} = AC_{pA}T_A + K_{comb.}BH_{cn} - G_e C_{pg} T_g - K_{\mathrm{Re}}(T^4{}_m - T_s{}^4) \qquad (1)$$

$$m_g H_{fg} = \frac{VC_{vg}P_f}{R} \qquad (2)$$

$$\frac{VC_{vg}}{R}\frac{dP_f}{dt} = AC_{pA}T_A + K_{comb.}BH_{cn} - G_e C_{pg} T_g - K_{\mathrm{Re}}(T^4{}_m - T_s{}^4) \qquad (3)$$

$$\frac{dm_e}{dt} = W_e - D_c - D_s \quad (4)$$

$$\frac{dm_e}{dt} = (\rho_{ls} - \rho_{vs})_e \frac{dV_e}{dt} + [V_e + V_{tv} + V_v(1-\alpha)\frac{d\rho_{ls}}{dp}\frac{dp}{dt} + (V_{lm} + V_l + V_v\alpha\frac{d\rho_{vs}}{dp}\frac{dp}{dt} - V\frac{d\alpha}{dt}(\rho_{ls} - \rho_{vs}) \quad (5)$$

المعادلات الحاكمة لتحليل غازات الاحتراق :

لغرض الحصول على مكونات وتراكيب الغازات الخارجة من غرفة الاحتراق ولتحليل تلك الغازات يمكن استخدام المعادلات الرياضية التالية [Bell2001,Wagne2002] :-

$$C_{mix} = \sum_{k=1}^{n}(C_k \times g_k) \quad (6)$$

$$s_{mix} = \sum_{k=1}^{n}(s_k \times g_k) \quad (7)$$

$$i_{mix} = \sum_{k=1}^{n}(i_k \times g_k) \quad (8)$$

$$g_k = \frac{M_k}{\sum_{k=1}^{n} M_k} = \frac{\mu_k \cdot r_k}{\sum_{k=1}^{n} \mu_k \cdot r_k} \quad (9)$$

$$r_k = \frac{V_k}{\sum_{1}^{n} V_k} = \frac{K_k}{\sum_{1}^{n} K_k} \quad (10)$$

يتألف الخليط الغازي من أربع غازات رئيسية هي O_2 و CO_2 و H_2O وآزوت N_2 وما نعرفه هو الحصتان الحجميتان للأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون في الخليط كما نعرف دوماً وبدون معطيات الحصص الحجمية والكتلية للهواء الجوي عندما نعتبره مؤلفاً فقط من الآزوت والأوكسجين. ونعرف كذلك معادلات احتراق الهيدروجين والكربون. تعريف الحصة المولية

-:[Taler2002 , Astrom and Bell 1993]

$$r_i = \frac{K_i}{K_{mix}} \tag{11}$$

$$K_{mix} = \sum_{i=1}^{n} K_i \tag{12}$$

$$K_i = r_i \cdot K_{mix} \tag{13}$$

$$K_{N_2} = r_{N_2} \cdot K_{mix} \,,\; K_{CO_2} = r_{CO_2} \cdot K_{mix}$$

$$K_{H_2O} = r_{H_2O} \cdot K_{mix} \,,\; K_{O_2} = r_{O_2} \cdot K_{mix}$$

المعادلات الرياضية لتحديد كمية الحرارة النظرية الناتجة عن الاحتراق

تحسب كمية الحرارة النظرية Q_F الناتجة عن احتراق $G_F\ [kg/h]$ من الوقود ذي القيمة الحرورية الدنيا $H_i\ [kJ/kg]$ من المعادلة الرياضية التالية [Gertler 1998,Lancu2003]

$$Q_F = G_F \cdot H_i\ [kJ/h] = \rho_F \cdot \dot{V}_F \cdot H_i\ [kJ/h] \tag{14}$$

$$\dot{Q}_F = \dot{G}_F \cdot H_i\ [kJ/\sec] = \dot{G}_F \cdot H_i\ [kW] = \frac{G_F \cdot H_i}{3600}[kW] \tag{15}$$

$$G_F = \frac{\rho_F Q_F}{\tau_F} \tag{16}$$

المعادلات الرياضية لتحديد كمية الحرارة الحقيقية المكتسبة للبخار الخارج من وحدة توليد البخار

تحسب كمية الحرارة $Q_v = [kJ/h]$ التي يكتسبها الماء في مولد البخار كي يتحول إلى بخار محمص من العلاقة التالية [Kim H 2005] :-

$$Q_v = Q_1 = G_v(h_4 - h_1)\ [kJ/h] \tag{17}$$

مردود مولد البخار في المحطات البخارية يأخذ بعين الاعتبار:- 1 – فواقد الحرارة مع غازات العادم المغادرة إلى المدخنة ، 2 – الاحتراق غير المثالي ، 3 – التسربات في الأنابيب ، 4- الضياعات بسبب طبيعة عمل المرجل (توليد ماء مشبع) . يحسب مردود مولد البخار من العلاقة [Oskasha2007 ، Kim H 2005]:-

$$\eta_b = 100\frac{Q_v}{Q_F}\% = 100\frac{G_v(h_4 - h_1)}{G_F \cdot H_i}\ \% \tag{18}$$

3 - الجزء العملي (Experimental part)

وصف وحدة توليد بخار المحطة البخارية

يوضح شكل رقم (2) المخطط التفصيلي لمكونات مجموعة توليد البخار Steam generator بإنتاجية 750 Kg/h عبارة عن مرجل أنبوبي Water pipe boiler مع تدوير قسري ذو مردود 90% . المولد مزود بحرَّاق Oil burner يعمل على المازوت مع محمِّص بخار Built-in coil type Super heater لرفع درجة حرارة البخار حتى 220ºC وكحد أعظمي حتى درجة حرارة 270ºC ومحمص بخار كهربائي حتى درجة حرارة 300ºC. بالإضافة إلى انه مزود بمدخنة مصنوعة من الستيل المغلون Galvanized steel chimney لتصريف غازات الاحتراق مع ترموستات حماية Safety كما هو موضح في شكل رقم (3) .

وصف الوقود المستخدم

تعتبر عملية الاحتراق نوعا خاصا من الأكسدة (oxidization) يتحد الاوكسجين الجوي بعناصر الوقود وتختلف التأثيرات البيئية لعملية الاحتراق تبعا لنوع الوقود المستخدم . ا ن الوقود المستخدم هو عبارة مجموعة فحوم هيدروجينية يسمى المازوت لونه بني مائل للسواد يتكون من متبقيات عمليات تقطير الزيت الخام الاسفلتي وكثافته النسبية 0.95 وهو سائل شديد اللزوجة في الظروف الطبيعية ولذلك يلزم تسخينه قبل استخدامه في عمليات الاحتراق وتعتبر در جة اللزوجة 24 stoke عند فوهة الحراق مناسبة لترذيذ المازوت ويصل الحد الاقصى للمحتوى المائي في المازوت الى 0.25% اما محتوى المواد المعدنية يظهر كرماد ناتج عن عملية الاحتراق ،ويعتبر المازوت افضل انواع الوقود البترولية المستخدمة في الافران لامتلاكه قدرة ضيائية عالية (Luminosity).

وصف جهاز اورسات

يسمح جهاز أورسات كما هو مبين بالمخطط التوضيحي شكل رقم (4) (صنع Didacta Italia طراز 998010) بقياس تراكيز الأوكسجين وأول أوكسيد الفحم وثاني أوكسيد الفحم لغازعادم وهو مركب داخل صندوق معدني، مع لوحات قابلة للنزع وقبضة عليا للحمل. جميع المكونات مصنوعة من الزجاج البوروكاربوني موصولة فيما بينها بأنابيب مناسبة مصنوعة من مواد كتيمة بالنسبة للغاز. تتألف الوحدة من: 1 . مواد ماصة absorption pipettes (3 قطع) ، 2 . سحاحة قياس measuring burette ، 3. مجمع ثلاثي – الطرق manifold, three-way ، 4 . سدادات رغوية (3 قطع) (3 pieces) latex bags ، 5 . أنبوب تنظيف ، 6 . قنينة تسوية 150ميللي ليتر levelling bottle, 150 ml ، 7 . مضخة مطاطية سحب وضخ (suction and force rubber pump)

4- القياسات العملية:-

طريقة قياس وحساب نواتج الاحتراق(غازات العادم)

غازات العادم هي خليط غازات سنفرضها مثالية لحالتي الدخول إلى المدخنة والخروج منها.
وبواسطة استخدام جهاز اورسات تم ايجاد تراكيب هذه الغازات على أساس القيم المقاسة وهي حسب جدول رقم (1) .

وبتطبيق المعطيات المقاسة في اعلاه نجد:-

$$K_{O_2} = 0.1008 \cdot K_{mix}, \qquad K_{CO_2} = 0.0811 \cdot K_{mix}$$

$$C + O_2 = CO_2 \quad (19)$$

$$K_{CO_2} = 0.0811 \cdot K_{mix} \quad (20)$$

كيلومول من CO_2 يتطلب $K_{CO_2} = 0.0811 \cdot K_{mix}$ كيلومول من O_2 الموجود في تركيبة الهواء الداخل إلى الحراق. من معادلة احتراق الهيدروجين إلى H_2O :

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 = H_2O \quad (21)$$

$$K_{H_2O} = r_{H_2O} \cdot K_{mix} \quad (22)$$

$$0.5K_{H_2O} = 0.5r_{H_2O} \cdot K_{mix} \quad (23)$$

$$K_{O_2} = r_{O_2} \cdot K_{mix} = 0.1008 \cdot K_{mix} \quad (24)$$

$$K_{CO_2} = r_{CO_2} \cdot K_{mix} = 0.0811 \cdot K_{mix} \quad (25)$$

$$0.5K_{H_2O} = 0.5r_{H_2O} \cdot K_{mix} \quad (26)$$

$$K_{O_{2-air}} = 0.1008 \cdot K_{mix} + 0.0811 \cdot K_{mix} + 0.5r_{H_2O} \cdot K_{mix} \quad (27)$$

$$K_{O_{2-air}} = (0.1819 + 0.5r_{H_2O}) \cdot K_{mix} \quad (28)$$

$$K_{N_{2-air}} = \frac{K_{O_{2-air}} \times 79}{21} \quad (29)$$

$$K_{N_{2-air}} = \frac{(0.1819 + 0.5r_{H_2O}).k_{mix} \times 79}{21} \quad (30)$$

$$K_{N_2} = \frac{(0.1819 + 0.5r_{H_2O})k_{mix} \times 79}{21} \quad (31)$$

$$r_{N_2} = \frac{(0.1819 + 0.5r_{H_2O}) \times 79}{21} = 0.68429 + 1.88095r_{H_2O} \quad (32)$$

$$K_{mix} = K_{O_2} + K_{CO_2} + K_{H_2O} + K_{N_2} \quad (33)$$

$$r_{H_2O} + r_{N_2} = 0.8181 \quad (34)$$

$$0.8181 - r_{H_2O} = 0.68429 + 1.88095r_{H_2O} \quad (35)$$

$$r_{H_2O} = \frac{0.8181 - 0.68429}{2.88095} = 0.04645 = 4.645\% \quad (36)$$

$$r_{N_2} = 0.8181 - 0.04645 = 0.77165 = 77.165\% \quad (37)$$

باستخدام المعادلة التالية نحدد الحصص الكتلية لكل عنصر [Bell 1993] :-

$$g_k = \frac{\mu_k \cdot r_k}{\sum_{k=1}^{n} \mu_k \cdot r_k} \qquad (38)$$

$$g_{O_2} = \frac{\mu_{O_2} \cdot r_{O_2}}{\mu_{O_2} \cdot r_{O_2} + \mu_{CO_2} \cdot r_{CO_2} + \mu_{H_2O} \cdot r_{H_2O} + \mu_{N_2} \cdot r_{N_2}} =$$

$$= \frac{32 \cdot 0.1008}{32 \cdot 0.1008 + 44 \cdot 0.0811 + 18 \cdot 0.04645 + 28 \cdot 0.77165} =$$

$$= \frac{3.2256}{3.2256 + 3.5684 + 0.8361 + 21.6062} = \frac{3.2256}{29.2363} = 0.11033$$

وبنفس طريقة الحساب في اعلاه نحسب بقية الحصص الكتلية للعناصر الاخرى(g_{co_2} ، g_{N_2} ، g_{H_2O}).

قياس أهم المتغيرات الحاكمة لوحدة توليد البخار :-

بواسطة قياس درجة الحرارة والضغط المانومتري المركبين قبل وبعد مولد البخار وكذلك قياس معدل تدفق الوقود ومعدل قياس تدفق البخار وايجاد البارومترات الاخرى من الجداول لحساب كفاءة مولد البخار والجداول رقم (2 و 3) توضح قيم البارومترات المطلوبة في الحسابات علما إن $H_i = 40500 kJ/kg$.

حيث بالامكان ان تحسب كمية الحرارة الناتجة نظرياً عن الاحتراق $Q_F^{\bullet}$

$$Q_F^{\bullet} = H_i \, G_F \qquad (39)$$

اما بالنسبة لكمية الحرارة المقدمة فعلياً للبخار عند الاحتراق (كمية الحرارة المكتسبة في مولد البخار أو الطاقة الحرارية المقدمة إجمالاً للبخار في المحطة $Q_1^{\bullet}$)

$$Q_1^{\bullet} = Q_v^{\bullet} = G_v \left(h_6 - h_4\right) \qquad (40)$$

حيث : h_6 انثالبي البخار عند النقطة (6) بعد المحمص وتساوي قيمته (2850 kj/kg) اعتمادا على قيمة الضغط ودرجة الحرارة المقاستين بعد المحمص . وعليه يمكن حساب مردود (كفاءة) مولد البخار η_b من المعادلة التالية :-

$$\eta_b = \frac{Q_1^{\bullet}}{Q_F^{\bullet}} \qquad (41)$$

طريقة حساب خسائر التبادل التقني الشامل :-

إن فواقد التبادل التقني بالمعنى الشامل قابلة للحساب في المحطة البخارية (Didacta Italia) بسبب توفر المقاييس المناسبة. لهذا الغرض يجب تسجيل قراءتي عداد المياه D6 وفرق الزمن بين القراءتين بالإضافة إلى تسجيل درجة حرارة المياه t_1 العابرة للعداد D6. هذه القراءات كافية لإيجاد معدل تدفق مياه التبادل التقني وبواسطة درجة حرارة البخار المشبع الخارج من مولد البخار المشبع يمكن إيجاد فواقد التبادل التقني بالمعنى الشامل . بواسطة عداد المياه D6 المركب قبل المرجل وساعة ميقاتية نحصل على حجم الماء الداخل إلى مولد البخار عبر مضخة تغذية المرجل $V_{f.w.}$ خلال الفترة الزمنية $\tau_{b.p.}$ من العمل المستقر للعنفة .

الجدول رقم (4) يبين بعض القياسات المطلوبة في الحسابات والتي تم قياسها عند تشغيل المحطة . حيث بواسطة المانومتر التفاضلي المتصل برقاقة قياس الضغط المعايرة diaphragm الموجودة قبل التورباين لقياس هبوط الضغط على طرفي الرقاقة وبواسطة مخطط معايرة الرقاقة المثبت بجانب المانومتر التفاضلي، حصلنا على قيمة معدل التدفق الكتلي البخار $(G_v\, kg/h)$ من جهة أُخرى فإن الفواقد الإجمالية للحرارة في مولد البخار $Q^{\bullet}_{lost\,tot.}$ هي أيضاً قابلة للحساب في المحطة البخارية $Q^{\bullet}_{lost\,tot.} = Q^{\bullet}_{F} - Q^{\bullet}_{v}$.

طريقة حساب خسائر منتجات الاحتراق في المدخنة:-

فواقد المدخنة بالمعنى الشامل قابلة أيضاً للحساب كونها مساوية للفرق بين الفواقد الإجمالية للحرارة في مولد البخار وفواقد التبادل التقني بالمعنى الشامل. و بهذا نكون قد أوجدنا التركيب المولي لمنتجات الاحتراق.

لايجاد إنثالبيي غازات العادم عند مدخل الحراق (burner) بعد قياس درجة حرارة الهواء وكذلك تم قياس درجة حرارة غازات العادم عند مخرج مولد البخار ومن جداول ريفيكين نجد قيم الانثالبي لنواتج الاحتراق.

$$i_{mix} = \sum_{k=1}^{n}(i_k \times g_k) \qquad (42)$$

$$i_{mix-t^{\circ}C} = i_{O_2} \times g_{O_2} + i_{CO_2} \times g_{CO_2} + i_{H_2O} \times g_{H_2O} + i_{N_2} \times g_{N_2}$$

$$q_{chemeny_{lost}} = i_{mix-214^{\circ}C} - i_{mix-35^{\circ}C} \qquad (43)$$

$$\dot{Q}_{chemeny_{lost}} = G_{c.g.} \times q_{chemeny_{lost}} \qquad (44)$$

إن فواقد المدخنة بالمعنى الشامل قابلة أيضاً للحساب كونها مساوية للفرق بين الفواقد الإجمالية للحرارة في مولد البخار وفواقد التبادل التقني بالمعنى الشامل. من القيم المقاسة $V_{f.w.} = 0.076\,m^3$.

$$\dot{V}_{f.w.} = \frac{V_{f.w.}}{\tau_{b.p.}} \quad (45)$$

$$\dot{M}_{f.w.} = \frac{\dot{V}_{f.w.}}{v_{f.w.}} \quad (46)$$

$$\dot{M}_{lost\ water.} = \dot{M}_{f.w.} - G_v \quad (47)$$

$$\dot{Q}_{lost\ with\ water\ leakage} = \dot{M}_{lost\ water} \cdot (h_5 - h_4) \quad (48)$$

$$Q^{\bullet}_{lost\ chemeny.} = Q^{\bullet}_{lost\ tot.} - \dot{Q}_{lost\ with\ water\ leakage} \quad (49)$$

$$M^{\bullet}_{exhaust} = \frac{Q^{\bullet}_{lost\ chemeny.}}{\Delta i_{exhaust}} \quad (50)$$

5- البرنامج الحسابي

تم بناء برنامج حسابي بلغة(فورتران 90) لحساب المتغيرات الرئيسية في غرفة الاحتراق بعد أن تم إدخال كل القيم الأولية والثوابت لمرحلة احتراق الوقود وكمية الطاقة الحرارية النظرية الناتجة من الاحتراق والمكتسبة من قبل البخار (الفعلية) حيث تم حساب كل المتغيرات الأخرى المطلوبة في حساب الطاقة الحرارية المفقودة في وحدة توليد البخار . تم توضيح البرنامج الحسابي بمخطط تفصيلي يوضح كافة خطواته والمعادلات المستخدمة كما في الشكل رقم (4) وتم تمثيل النتائج بيانيا .

6. النتائج والمناقشة:

يمكن أن ندمج الفواقد الأربعة والتي تم أخذها بنظر الاعتبار عند حساب المردود الفعلي لمولد البخار في بندين وهما كما يلي :-

1 . بالإمكان ان ندمج فواقد الاحتراق غير المثالي مع فواقد الحرارة مع غازات العادم لأن الوقود غير المحترق سيغادر مع العادم عبر المدخنة وان فواقد الحرارة الخارجة مع غازات العادم ناتجة من مصدرين : أ – الطاقة الحرارية المحمولة مع غازات العادم المغادرة إلى الجو عبر المدخنة. ب – الطاقة الكيميائية للوقود غير المحترق والمغادر إلى الجو عبر المدخنة . يوضح الجدول رقم (5) القيم الكتلية لعناصر غازات العادم بينما يوضح الجدول رقم (6) قيم الانثالبي لغازات الاحتراق عند مدخل ومخرج غرفة احتراق الوقود.

2 . بالإمكان ان ندمج فواقد التسربات في الأنابيب مع الضياعات بسبب التبادل التقني لأنهما يخصان الماء الساخن أو البخار المغادر لمولد البخار وجزء الدائرة السابق لمقياس تدفق البخار سواء

كانت المغادرة بدون إرادتنا (التسربات) أو بإرادتنا (التخلص من الماء الزائد في الاسطوانة العليا . تم القياس العملي لمتغيرات وحدة توليد البخار وتم تلخيص نتائج القياس والحساب بالجداول (7,8) وكما يلي :-

خسائر الطاقة الحرارية الإجمالية

شكل رقم (5) يمثل سلوك درجة الحرارة غازات العادم مع الزمن بتغير سرعة الاحتراق حيث إن زمن وصول درجة الحرارة إلى قيمة استقرارها عند(14 C^0) يتناسب عكسيا مع سرعة الاحتراق وتؤثر درجة الحرارة على تدفق الغازات الخارجة من غرفة الاحتراق. أما شكل رقم (6) يوضح سلوك ضغط الفرن مع الزمن حيث يرتفع تدريجيا إلى أن يصل إلى حالة الاستقرار إلى القيمة العظمى وهي (10) بار ثم ينطفئ اللهب وعند استهلاك البخار يبدأ الضغط بالتذبذب اعتمادا على انطفاء اللهب واشتعاله . شكل رقم (7) يوضح سلوك مستوى الماء في الاسطوانة العليا لحظة فتح صمام استهلاك البخار وان هذه القفزة في المستوى تعزى إلى حدوث ظاهرة الانتفاخ نتيجة النقصان المفاجئ في الضغط .

شكل رقم (8) يوضح كميات الغازات الخارجة من العادم مع الزمن وهذه الغازات تمل طاقة حرارية مفقودة تزداد هذه الطاقة المفقودة كلما زاد الوقت أما الأشكال رقم (10,9) يمثلان تغير الانثالبي للبخار والماء مع تغير ضغط مولد البخار ويلاحظ ان قيم الانثالبي للماء تزداد كلما زاد ضغط مولد البخار بينما تقل قيم الانثالبي للبخار عندما يزداد الضغط . الأشكال رقم (11، 12) يمثلان كفاءة مولد البخار وتغيرها مع تغير استهلاك البخار والوقود حيث عندما نزيد من استهلاك الوقود ونثبت استهلاك البخار فان الكفاءة تقل بينما كفاءة مولد البخار تزداد عندما نثبت استهلاك الوقود ونزيد من استهلاك البخار .

قيم الانثالبي للغازات الخارجة من المدخنة والتي تم إيجادها من جداول ريفيكين بالاعتماد على درجات الحرارة المقاسة عند مدخل الحراق وهي درجة حرارة الهواء ودرجة الحرارة المقاسة عند مخرج المدخنة ولذلك نلاحظ فرق في قيم الانثالبي حيث زادت قيم الانثالبي لان درجة الحرارة المقاسة زادت حيث كانت قيمة انثالبي الماء هي أعلى قيمة عند درجة حرارة الهواء في مدخل الحراق من بقية الغازات الأخرى وزادت هذه القيمة اكثر (تقريبا ضعف) عند ما كانت درجة الحرارة عند مخرج المدخنة تساوي (214 C^0) .

شكل رقم (8) يوضح المقارنة بين قيمة الفقدان في كمية الحرارة عند مدخل الحراق (درجة حرارة الهواء المقاسة كانت تساوي 35 C^0) وبين كمية الحرارة المفقودة عند مدخل المدخنة (درجة حرارة الغازات الخارجة تساوي 214 C^0) وان الفرق بين هاتين القيمتين المفقودتين والتي كانت تساوي 147. 179 kj/kg .

. **خسائر الطاقة الحرارية نتيجة التبادل التقني الشامل**

إن هذا النوع من الخسائر يشمل التسربات في الانابيب والضياعات بسبب التبادل التقني وذلك لان كلاهما يخص الماء الساخن او البخار المغادر لمولد البخار . حيث تم حساب الخسائر الاجمالية للحرارة في مولد البخار والتي كانت تساوي الفرق بين القيمة النظرية المقدمة من الاحتراق وبين القيمة الفعلية المكتسبة من قبل البخار وقد كان الفرق بينهما يساوي (25.466 kW) .

شكل رقم (9) يوضح قيم الحرارة المقدمة نظريا إلى البخار من احتراق الوقود (المازوت السوري) الذي يمتلك ($H_i = 40500\,kJ/kg$) والحرارة الفعلية المقدمة إلى البخار (المكتسبة) والتي تعتمد على فرق الانثالبي بين حالة البخار قبل المرجل (نقطة 4) وبين حالته بعد المحمص (نقطة 6) ومعدل جريان البخار

إن الشكل رقم (13) يوضح العلاقة بين نسبة جريان الغازات الخارجة من العادم وكمية الحرارة المفقودة من جريان الغازات حاملة معها الحرارة المفقودة . شكل رقم (14) يوضح قيم الحرارة المكتسبة للبخار وعلاقتها مع انثالبي البخار حيث تزداد كلما زاد ت قيمة الانثالبي. إن زيادة الحرارة المفقودة وهي نتيجة التبادل التقني نتيجة تسرب في المياة($Q^{\bullet}_{lost\ water.}$) بينما شكل رقم (15) يلخص تغير فبم الطاقة الحرارية المقدمة والمكتسبة والمفقودة مع زمن توليد البخار.

الاستنتاجات

تم التوصل إلى استنتاجات مهمة والتي تم تلخيصها بالنقاط التالية :-

1 . الخسائر في الطاقة الحرارية الإجمالية في المدخنة هي ناتجة من مجموع خسائر الحرارة المصاحبة مع الغازات الخارجة عبر المدخنة إلى الجو والخسائر في الطاقة الكيميائية للوقود غير المحترق والخارج مع غازات العادم تعتمد على نوعية الوقود ومواصفات الحارق الفنية .

2 . الخسائر الحرارية نتيجة التبادل التقني الشامل والناتجة من التسربات والضياعات في الماء او البخار ضمن وحدة توليد البخار تعتمد على كفاءة وحدة توليد البخار (المرجل) . كفاءة وحدة توليد البخار في المحطة البخارية (Didacta Italia) كانت تساوي % 78.79 .

3. توفر أجهزة القياس وتطورها ودقتها في النقاط المهمة في دائرة المحطة البخارية (Didacta Italia) والأجهزة الأخرى الملحقة مع المحطة ساعد وسهل عملية إجراء القياسات .

4 . التدفق الكتلي لمنتجات الاحتراق يعتمد عكسيا على قيمة الفرق بين انثالبي غازات العادم عند مدخل ومخرج المدخنة ويتناسب طرديا مع قيمة فواقد المدخنة بالمعنى الشامل.

5. استعمال جهاز اورسات المعروف بدرجة وثوقيته ودقته في تحليل الغازات لإيجاد نواتج الاحتراق ومعرفة التراكيز والنسب لتلك الغازات وكذلك وجود الجهاز الالكتروني لقياس درجة حرارة الغازات لإكمال حسابات الخسائر الحرارية المصاحبة للغازات ساعد وسهل عملية إجراء الحسابات

جدول رقم (1) القيم المقاسة لمكونات خليط غازات العادم

r_{O_2}	r_{CO_2}	r_{NO}	r_{NO_X}	r_{CO}
10.08%	8.11%	$37\,ppm$	$39\,ppm$	$12\,ppm$

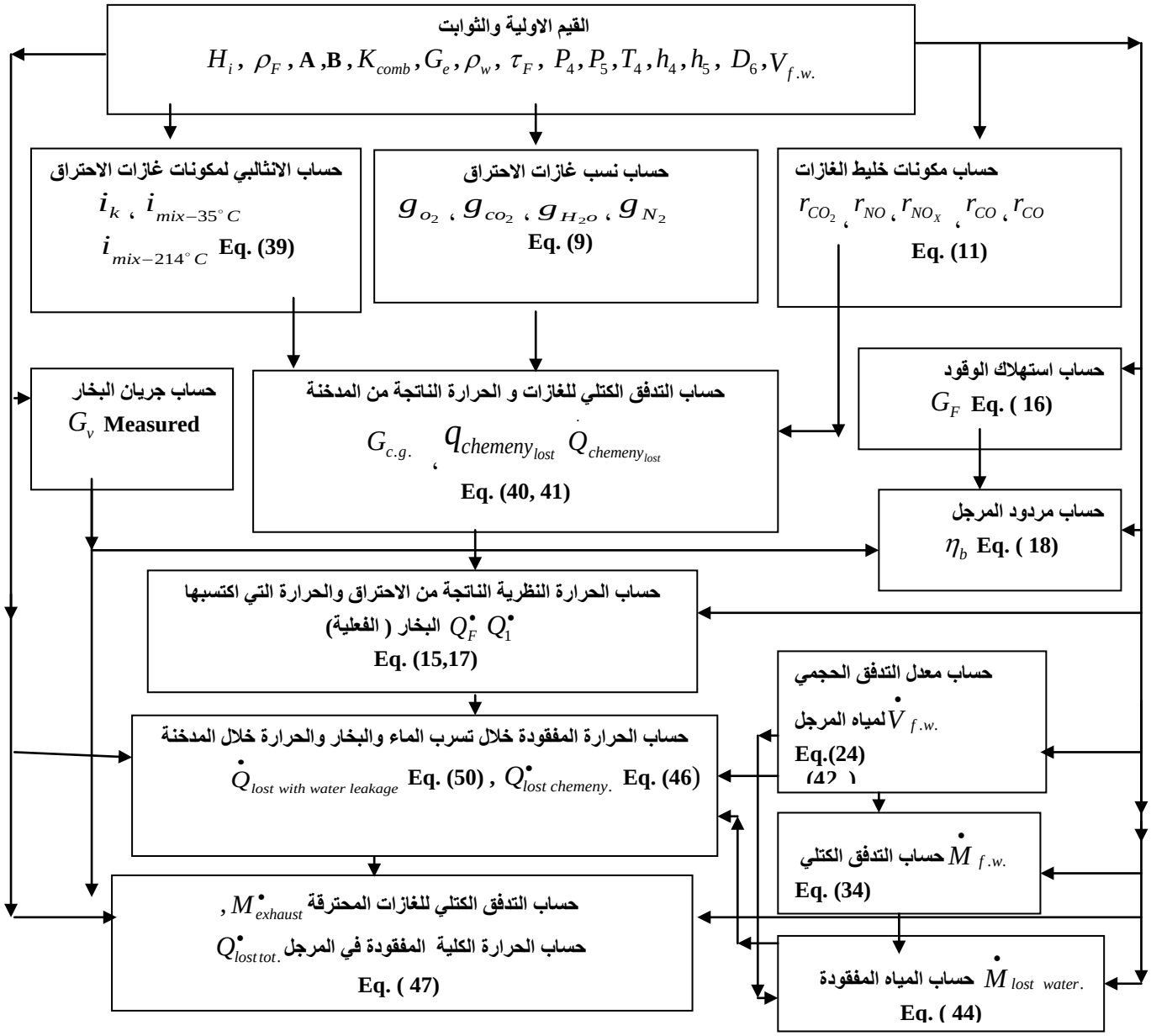
.

جدول رقم (2) القيم المقاسة عند النقطة 4 (مدخل مولد البخار)

P_4	t_4	G_F
9.92 bar	C^0 40.03	10.672 kg/h

جدول رقم (3) القيم المقاسة عند النقطة 5 (مخرج مولد البخار)

P_5	t_5	G_v
9.92 bar	C^0 179.6	127 kg/h



شكل رقم (4) مخطط البرنامج الحسابي (Flow chart)

جدول رقم (5) قيم الحصص الكتلية المحسوبة لعناصر غازات العادم

g_{o_2}	g_{co_2}	g_{H_2O}	g_{N_2}
0.11033	0.122096	0.028598	73902 0.

جدول رقم (6) انثالبي نواتج الاحتراق عند مدخل ومخرج غرفة الاحتراق

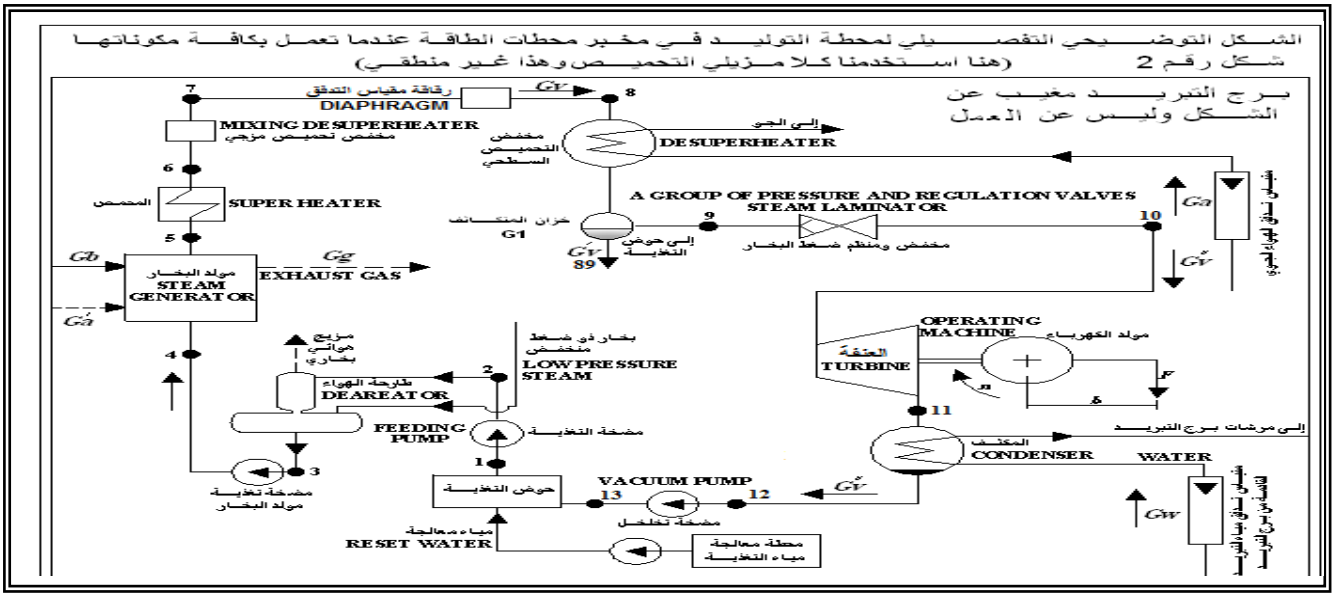
Temperature C^0	i_{N_2}	i_{0_2}	i_{CO_2}	i_{H_2O}
35	319.7 kj/kg	279.8 kj/kg	221.35 kj/kg	568.05 kj / Kg
214	496.1 kj/kg	448.1 kj/kg	389.01 kj/kg	908.36 kj/kg

جدول رقم (7) القيم المحسوبة عند مدخل ومخرج مولد البخار

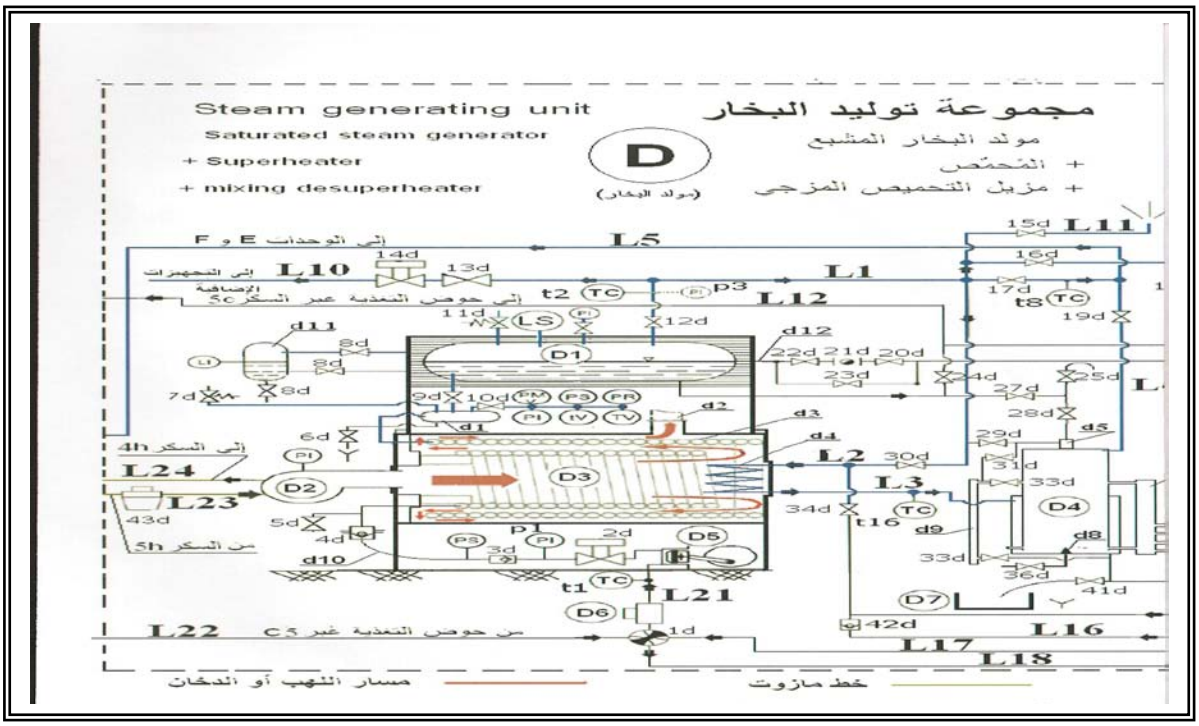
h_4	s_4	h_5	s_5
168.5 kj/kg	5724 kj/kg.k 0.	2778 kj/kg	698 kj/kg k

جدول رقم (8) القيم المحسوبة لفواقد التبادل التقني الشامل

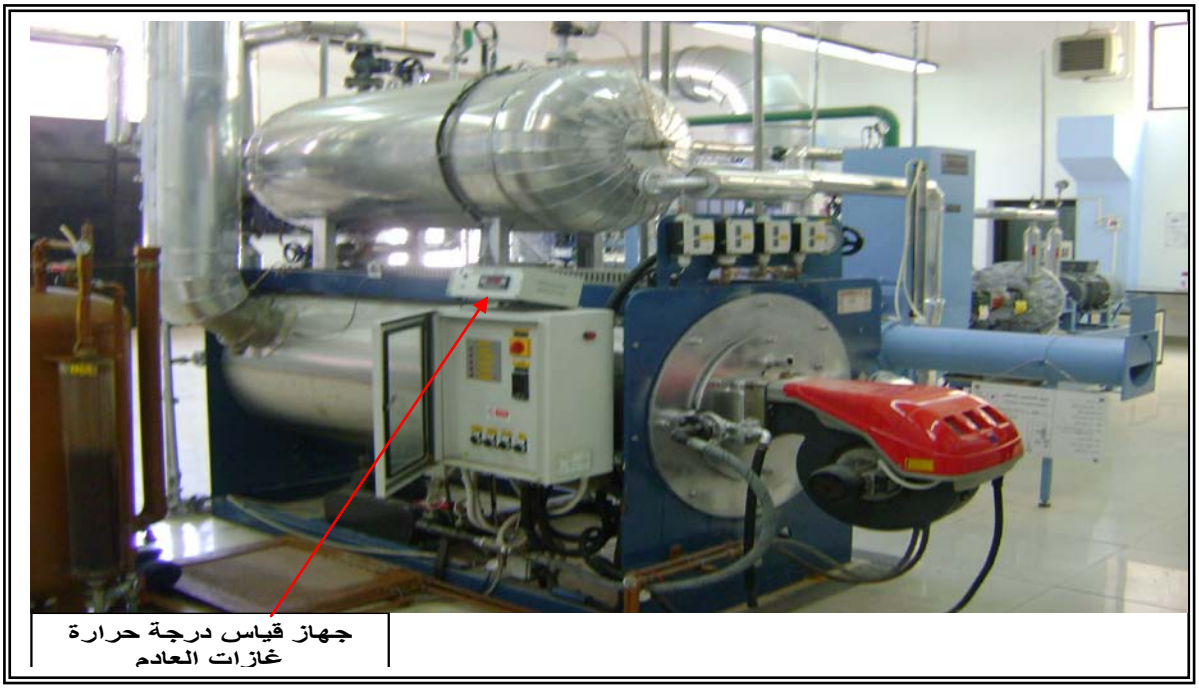
$Q_F^{\bullet}$	$Q_1^{\bullet}$	$\dot{Q}_{lost\ with\ water\ leakage}$	$Q_{lost\ chemeny.}^{\bullet}$	$Q_{lost\ tot.}^{\bullet}$
120.06 kw	94.594 kw	4.0658 kw	21.4 kw	25.466 kw



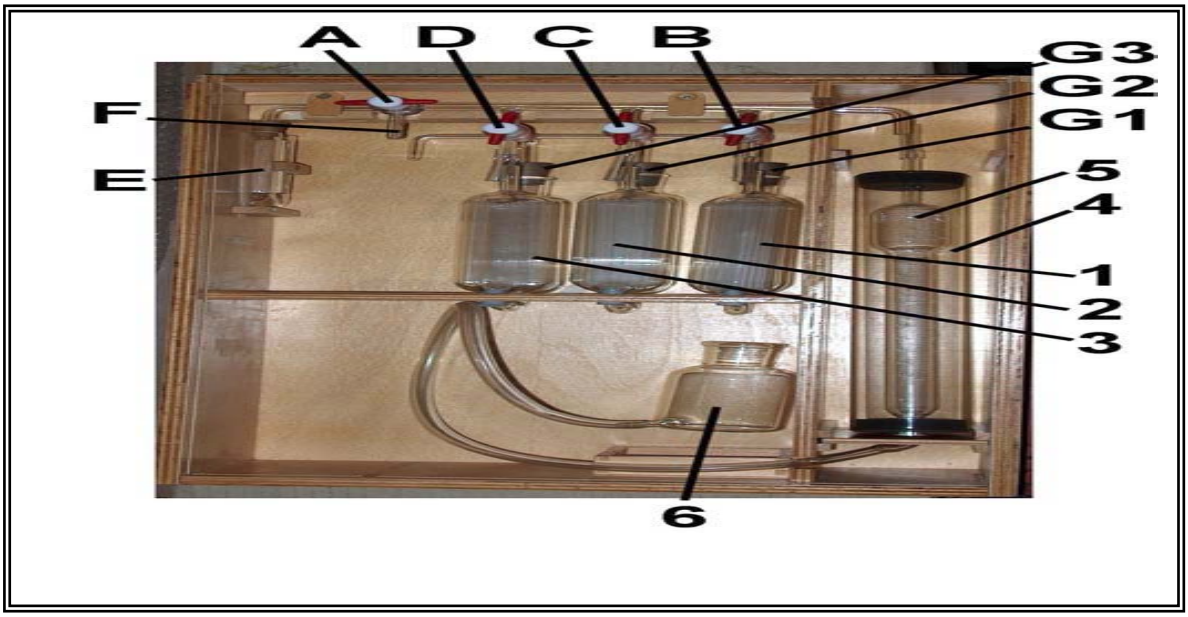
شكل رقم (1) المخطط التوضيحي والتفصيلي لوحدات واجزاء محطة توليد البخار (Didacta Italia)



شكل (2) المخطط التوضيحي لوحدة توليد بخار المحطة البخارية (Didacta Italia) D1 – اسطوانة تجميع المتكاثف ، D2 - الحراق ، D3 – الموقد (الفرن)، D4 – وحدة المحمص ، D5 –مضخة تغذية المياه ، D6 – عداد مياه التغذية ، d1 – موزع ، d2 - المدخنة (مجرى مرور غازات الاحتراق) ، d3 – انبوب الغليان (الانبوب الحلزوني) ، d4 – انبوب المحمص ، d10 – انبوب مرن (خرطوم) ،

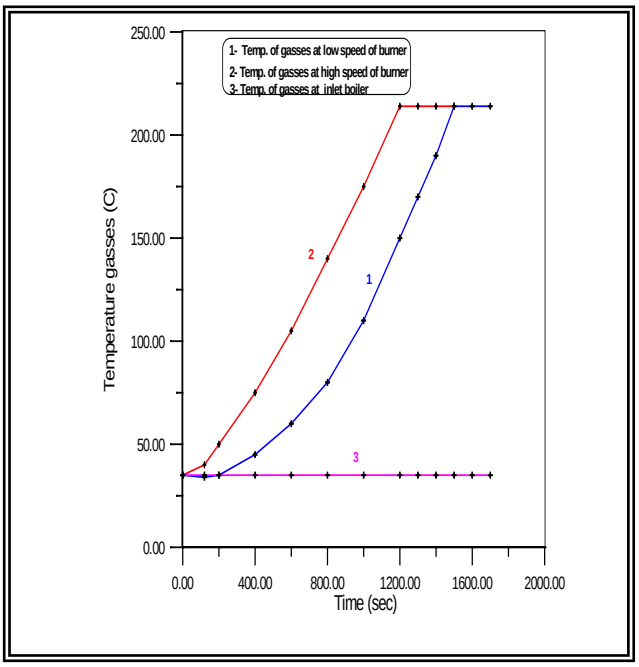


شكل رقم (3) صورة مولد البخار للمحطة البخارية (Didacta Italia)

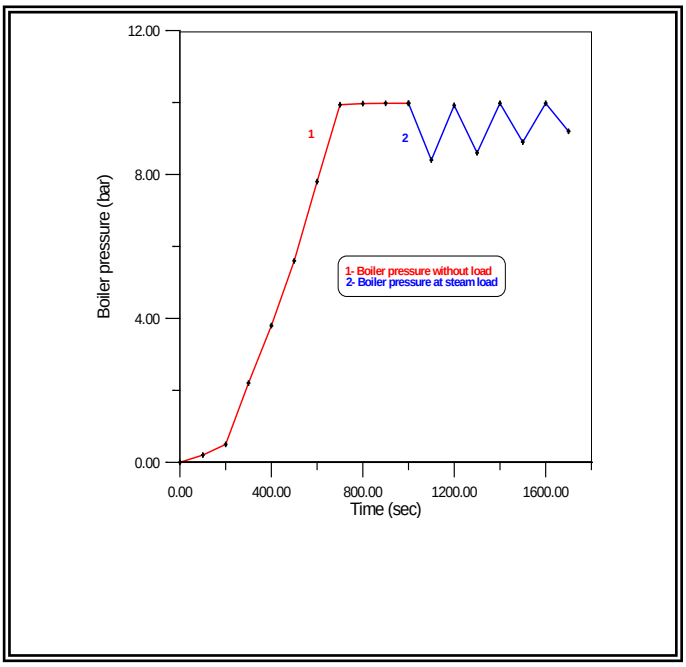


شكل رقم (4) مخطط توضيحي لاجزاء ومكونات جهاز اورسات المستخدم في تحليل غازات الاحتراق لحساب تراكيز الاوكسجين واول اوكسيد الكاربون وثاني اوكسيد الكاربون لمولد بخار المحطة البخارية . 1- ماص ثاني اوكسيد الكاربون ، 2 - ماص اوكسجين ، 3- ماص اول اوكسيد الكاربون ، 4 – سحاحة قياس ، 5 –مجمع ثلاثي الطرق ، 6 - قنينة تسوية (150مللي ليتر) . A -سدادة ثلاثية ، (B ، C ، D) - سدادات رغوية ، E - أنبوب تنظيف ، F – مضخة مطاطية تغذية هواء سحب ومص ، (G1, G2,G3)- صمامات .

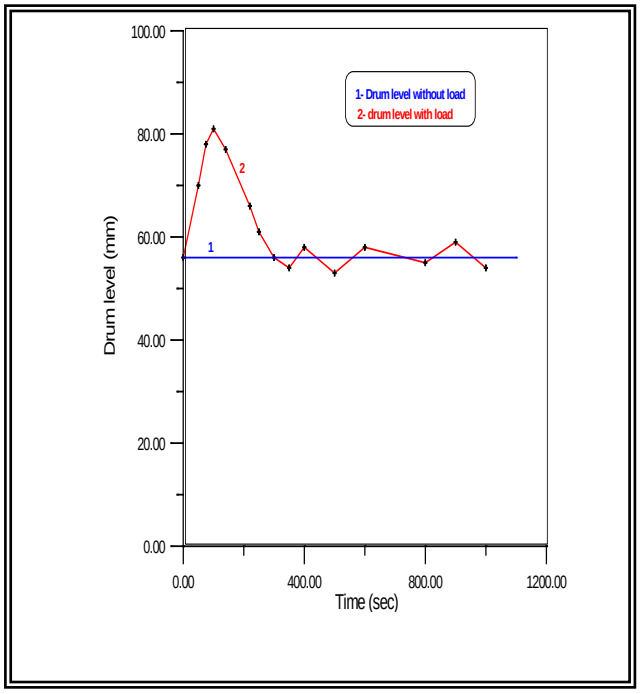
.



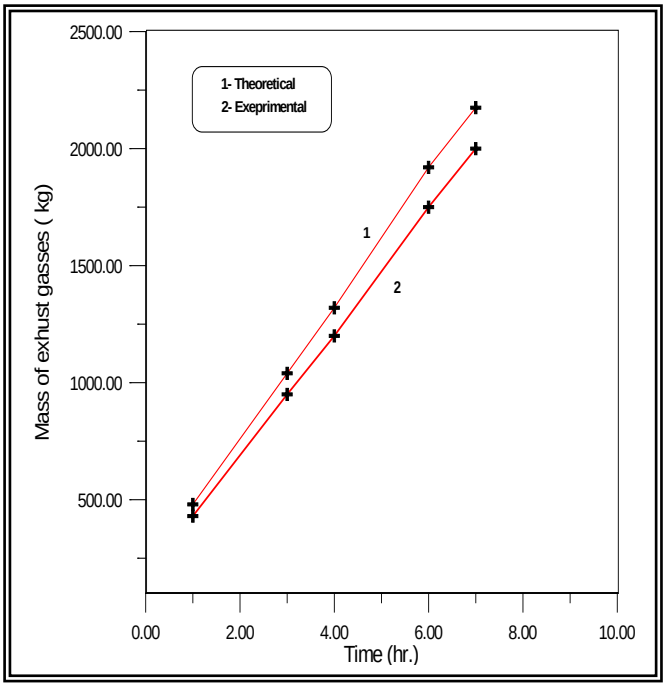
شكل رقم (5) سلوك درجة حرارة الغازات الخارجة من العادم مع تغير سرعة الاحتراق



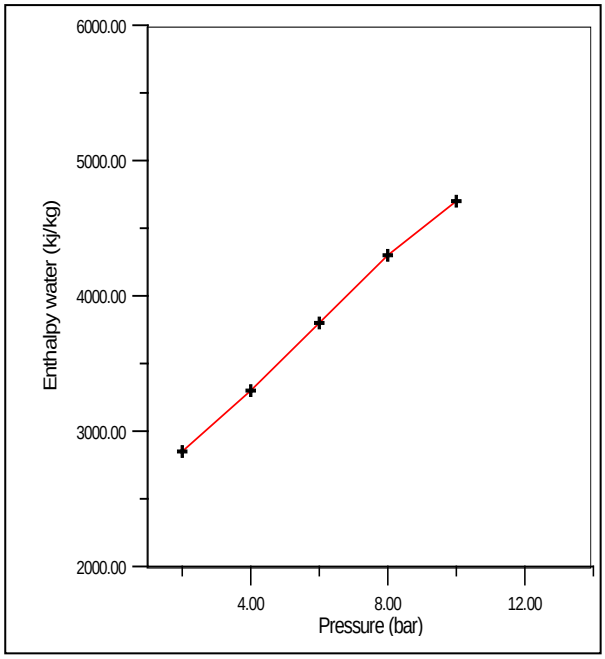
شكل رقم (6) سلوك ضغط المرجل من بداية التشغيل حتى استهلاك البخار للمحطة البخارية



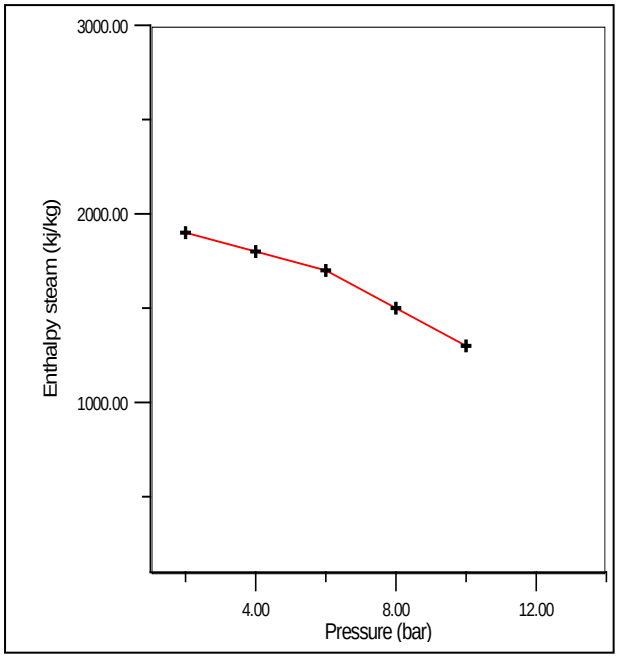
شكل رقم (7) تغير مستوى الماء في الاسطوانة العليا للمرجل لحظة فتح صمام استهلاك البخار



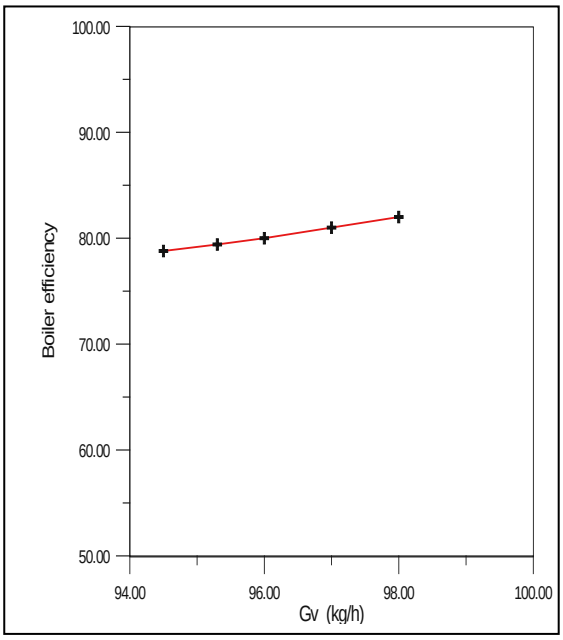
شكل رقم (8) تغير كمية الغازات الخارجة من المدخنة مع زمن توليد البخار في المرجل



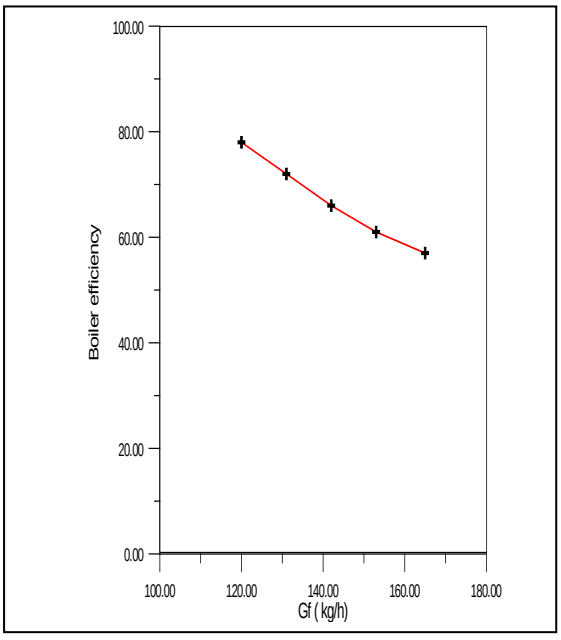
شكل رقم (10) تغير انثالبي الماء مع تغير ضغط مولد البخار



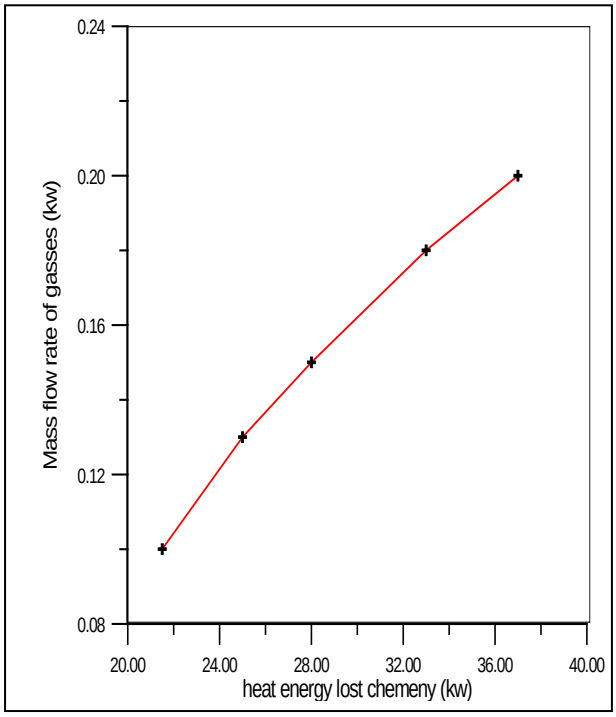
شكل رقم (9) تغير المحتوى الحراري للبخار مع تغير ضغط مولد البخار



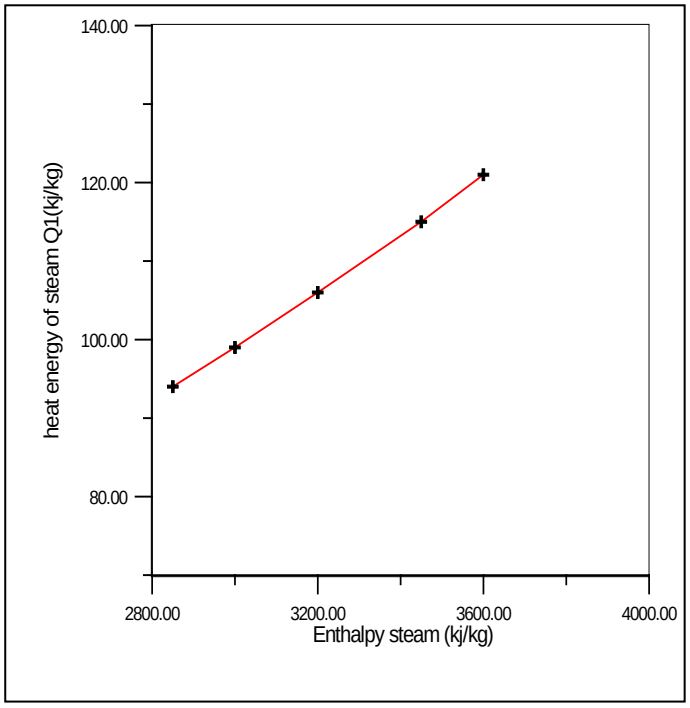
شكل رقم (12) تغير كفاءة مولد البخار مع تغير كمية استهلاك البخار عند ثبات كمية استهلاك الوقود



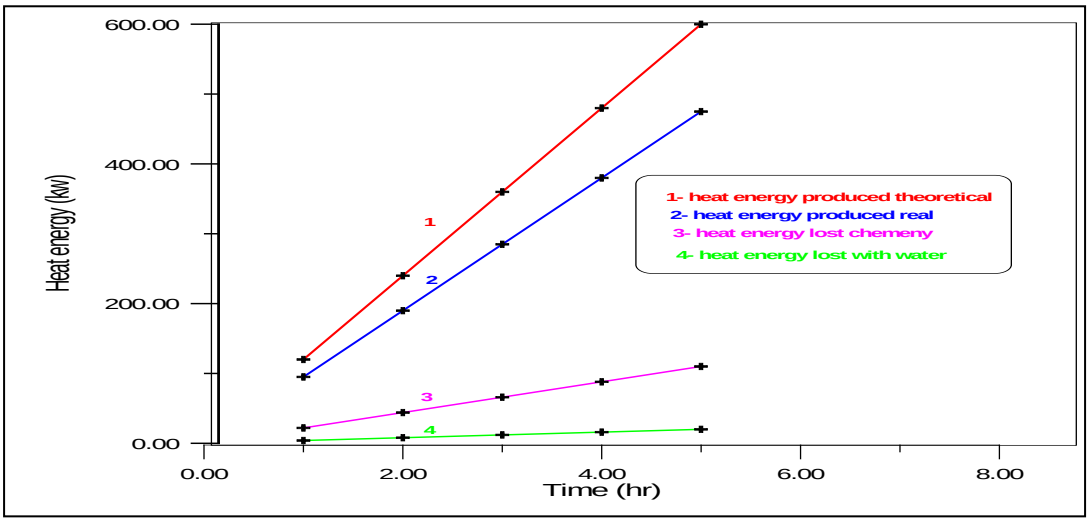
شكل رقم (11) تغير كفاءة مولد البخار مع تغير كمية استهلاك الوقودعند ثبات كمية استهلاك البخار



شكل رقم (13) تغير جريان الغازات الخارجة مع الحرارة المفقودة في المدخنة



شكل رقم (14) تغير الطاقة الحرارية المكتسبة للبخار مع تغير المحتوى الحراري للبخار



شكل رقم (15) تغير قيم الطاقة الحرارية المقدمة والمكتسبة والمفقودة مع زمن توليد البخار

8. References

Åström, K. J., & Bell, R. Drum boiler dynamics.Automatica, 36, pp. 363–378, 2000.

Aström and Bell, Aströrn, K.J., R. A nonlinear Model for Steam Generation Processes. In: preprints of the 12th IFAC word Congress, Sydeny Australia, Vol.3, pp. 395-398, 1993.

Bell and R.D. Drum-boiler dynamics. Automatica, 37,pp. 233 – 245, 2001.

Franke, and M. Rode. Optimization of boiler startup using a nonlinear boiler model and hard constraints . In Proceedings of the15th national Conference on Energy, Costs Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS), volume II, pages 10–1318. Berlin, Germany, July 2002.

Gertler, Fault detection and diagnosis in engineering systems, Ed. Marcel Dekker, New York. 1998.

Kim H, Choi S. A model on water level dynamics in natural circulation drum-type boilers. International Communications in Heat and Mass Transfer; 32:786–796 , 2005.

Iancu , M.Vinatoru , Analytical method for fault detection and isolation in dynamic systems study case", Ed. Universitaria Craiova , 2003.

Okasha, F. odeling combustion of strawbitumen pellets in a fluidized bed Fuel Processing Technology, Vol 88, pp. 281-293, 2007.

Scala, F. & Chirone, R.Combustion and attrition of biomass in fluidized bed. Energy and fuels, Vol. 20 , pp. 91-102, 2006.

Salatino, P., Scala, F. & Chirone, R. Proc. of 27th Symp (Int.) on Combust.,Combustion Institute, Pittsburgh (PA) in press, 1998.

.

Taler, J., Zborowski, M., Węglowski, B., Optimisation of Construction and Heating of Critical Structural Components of Boiler Drums, VGB PowerTech, Vol. 82, Nr. 11, pp. 19-24, 2002.

Wagner et. al .The IAPWS Industrial Formulation for the thermodynamic properties of water and steam. Transactions of the ASME, 122:150–182, 2000 .