

Recuperator de căldură cu tuburi termice pentru valorificarea energiei reziduale în clădiri*

Heat Pipe Heat Exchanger for waste heat recovery in buildings

Andrei Burlacu¹, Marius Costel Balan¹, Vasilică Ciocan¹, Marina Verdeș¹

¹Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Romania
Facultatea de Construcții și Instalații
Departamentul de Ingineria Instalațiilor
E-mail: andreibu@yahoo.com

Rezumat. *Lucrarea prezintă un recuperator de căldură cu tuburi termice de concepție originală, proiectat pentru prepararea apei calde, utilizând ca agent primar gazele evacuate rezultate din diferite procese de ardere. Recuperatorul de căldură beneficiază de multiple avantaje, dintre care un cost redus pentru realizare, exploatare și mentenanță precum și ușurința instalării și utilizării.*

Cuvinte cheie: Recuperator de căldură cu tuburi termice

Abstract. *The present paper presents a heat pipe heat exchanger originally designed for the hot water preparation using as a primary agent the hot exhaust gases of a burning process. The proposed device has a lot of advantages as low cost of manufacturing, exploitation and maintenance and it is very easy to install and use.*

Key words: Heat Pipe Heat Exchanger

1. Introducere

Valorificarea formelor neconvenționale de energie și a deșeurilor termice a condus la dezvoltarea și implementarea diferitelor tipuri de recuperatoare de căldură. Există o gamă foarte largă de schimbătoare și recuperatoare de căldură, din ce în ce mai perfecționate și mai eficiente, între care, recuperatoarele cu tuburi termice au astăzi un loc bine cunoscut.

Reducerea consumului de energie în clădiri prezintă o relevanță socio-economică deosebită, motiv pentru care sunt promovate programe intensive de reabilitare și modernizare energetică atât a anvelopei cât și a sistemelor de instalații.

Compactitatea și posibilitatea de reglare a fluxului transferat recomandă schimbătoarele de căldură cu tuburi termice pentru aplicații în domeniul încălzirii și preparării apei calde de consum precum și climatizării și ventilării mecanice.

Proprietatea de reversibilitate și fiabilitatea ridicată conferă acestui tip de aparate calitatea de a putea fi utilizate atât pentru răcirea cât și pentru încălzirea diversilor agenți termici.

* Lucrare inclusă în programul conferinței "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings (RCEPB 2013)"

În ciuda unor preturi puțin mai ridicate ale acestor recuperatoare, se estimează că avantajele pe care le prezintă vor asigura o dezvoltare promițătoare.

Valorificarea energiei neconvenționale și valorificarea deșeurilor și a formelor de recuperare de căldură au condus la dezvoltarea și punerea în aplicare a diferitelor tipuri de recuperare a căldurii.

Recuperatorul are aplicabilitate la scara largă putând fi folosit la:

- Preîncălzirea apei de adaos sau de alimentare la cazane;
- Preîncălzirea aerului de combustie;
- Încălzirea incintelor cu aer sau apa caldă;
- Încălzirea apei calde menajere.

Principalele avantaje ale recuperatorului de căldură constau în:

- Etanșeitate foarte bună între cele două medii; nu există pericolul de amestec a celor două medii (gaze arse – fluid de încălzit);
- Transferul de căldură se realizează practic instantaneu;
- Eficiență termică ridicată;
- Fiabilitate;
- Nu există solicitări mecanice sau termice;
- Costuri scăzute de exploatare și mentenanță;
- Funcționare îndelungată.

2. Descrierea recuperatorului cu tuburi termice

Aparatul a fost echipat cu tuburi termice produse de *nPowerTek Company, Taiwan* cu următoarele caracteristici:

- diametru exterior 10 mm;
- lungime 1000 mm;
- flux termic maxim transportat la 200 °C = 330 W;
- temperatura de operare: +5 până la +230 °C
agent de lucru : apă.

Recuperatorul de căldură (Figura 1) este format din două zone principale. Partea de preluare a căldurii (vaporizatorul), de la un agent termic rezidual, în acest caz gazele de ardere de la procese de combustie și partea de cedare (condensatorul), în care un debit de apă rece stabilit se încălzește prin intermediul tuburilor termice.

Au fost studiate mai multe ipoteze funcționale, pentru a surprinde cât mai bine eficiența acestui tip de recuperator de căldură cu tuburi termice.

Tehnologia de execuție a tuburilor termice este relativ simplă, singura problema mai delicată fiind realizarea gradului de vid din interior. Nerealizarea corectă a acestuia ducând la funcționarea necorespunzătoare.

Recuperator de căldură cu tuburi termice pentru valorificarea energiei reziduale în clădiri

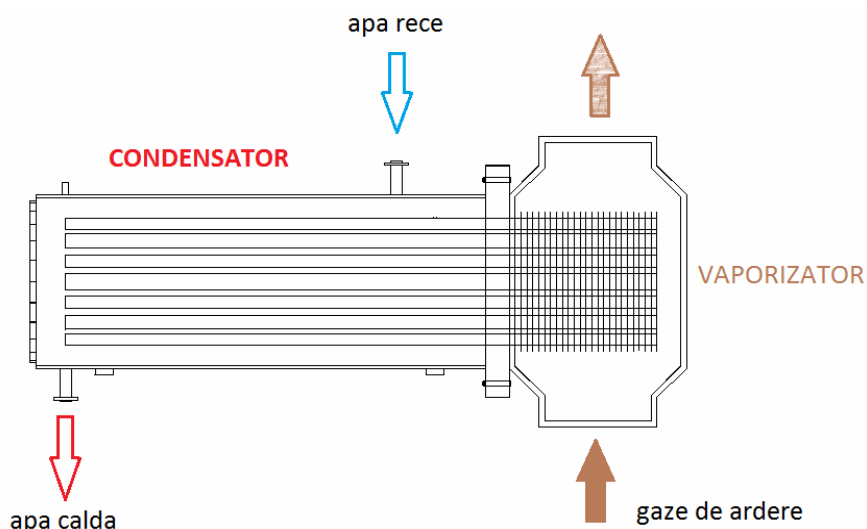


Figura 1

Pentru realizarea recuperatorului de căldură s-au utilizat 13 tuburi termice cu diametrul de 10mm și lungimea de 1m. (Figura 2, 8, 9, 10)

Pentru mărirea suprafeței de schimb de căldură și pentru intensificarea transferului convectiv, pe partea de aer au fost introduși promotori de turbulență. (aripioare pe tuburile termice sub forma de spirala, în spațiul de circulație a aerului din zona de condensare).

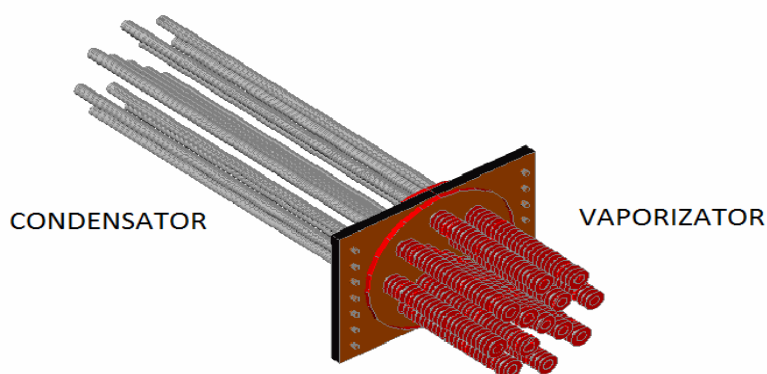
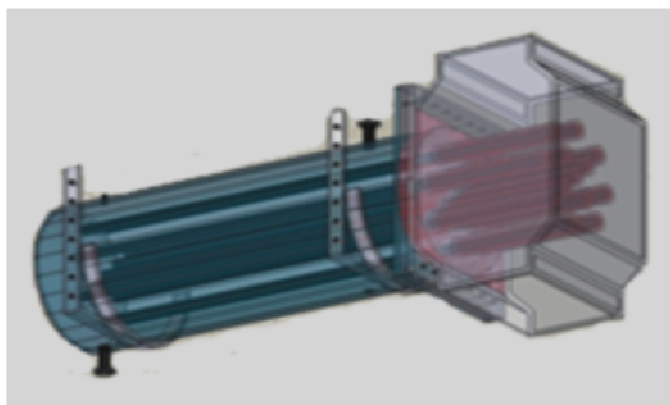


Figura 2



Rezervorul (Figura 3) este realizat din tablă de oțel inoxidabil, izolat corespunzător, prevăzut cu o supapa de suprapresiune, flanșă pentru integrarea ușoară în tubulatura coșului pentru evacuarea gazelor arse, suportți pentru ancorarea în perete executați din oțel cornier și cu un record branșat la conducta de apă rece și unul pentru apa încălzită în rezervor. (Figura 4)

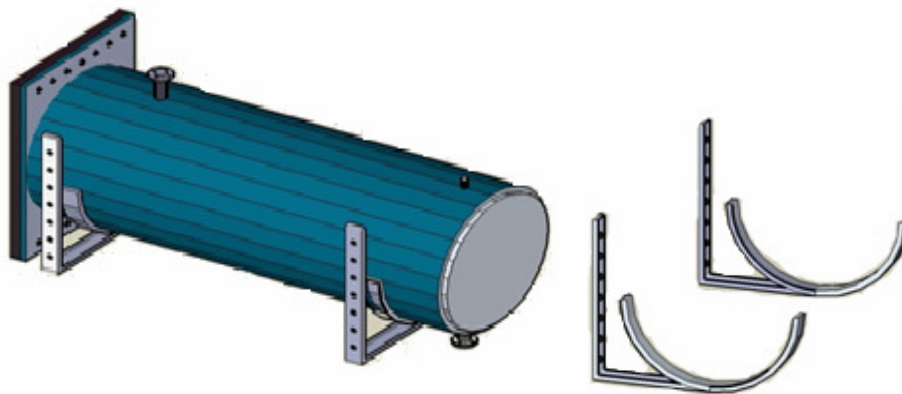


Figura 3

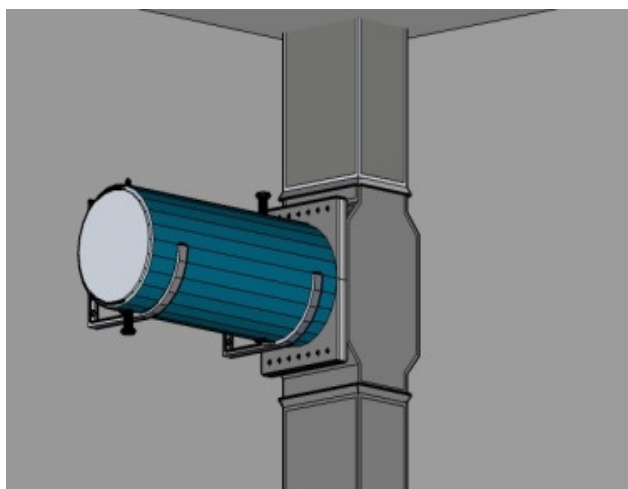


Figura 4

3. Principiu de funcționare

Recuperatorul de căldură a fost dimensionat pentru prepararea unui volum de apă caldă de 84,78 litri, la temperatura de 40°C corespunzător necesarului specific de apă caldă de consum conform STAS 1478.

Condiția inițială a fost ca fluxul termic primit de la agentul primar să fie egal cu fluxul termic cedat agentului secundar.

Pentru a respecta aceasta condiție s-a mărit suprafața de schimb de căldură a vaporizatorului prin adăugarea unor aripioare elicoidale pe suprafața tuburilor termice din vaporizator (Figura 2).

$$Q_1 \cong Q_2 \quad (1)$$

Recuperator de căldură cu tuburi termice pentru valorificarea energiei reziduale în clădiri

$$Q_1 = \alpha_{aer} * s_1 * \Delta t_1 \quad [\text{W}] \quad (2)$$

$$Q_2 = \alpha_{apa} * s_2 * \Delta t_2 \quad [\text{W}] \quad (3)$$

Unde:

- Q_1 –fluxul termic primit de la agentul primar in vaporizator,in [W]
- Q_2 - fluxul termic cedat agentului secundar in condensator, in [W]
- α_{aer} si α_{apa} -coeficienti de transfer termic convectiv pentru aer si respectiv apa,in [W/m² °C]
- s_1 si s_2 - suprafețele de schimb de caldura, a vaporizatorului respectiv a condensatorului in [m²]. $s_1=6.6 \text{ m}^2$; $s_2=0.308 \text{ m}^2$

- Δt_1 diferenta de temperatura a agentului primar la intrare (t_{11}) si iesire din vaporizator (t_{12}).

- Δt_2 diferenta de temperatura a agentului secundar la intrare (t_{22}) si iesire (t_{21}) din condensator.

Relația criterială pentru dimensionarea recuperatorului de căldură este:

$$Nu=A*Re^n*Pr^m \quad (4)$$

Unde:

$$Re = \frac{v * d}{\nu} \quad Pr = \frac{c_p * \rho * \mu}{\alpha} \quad Nu = \frac{\alpha * d}{\lambda} \quad \alpha = Nu * \frac{\lambda}{d}$$

Valorile coeficienților din relația criterială adoptată (A, n, m) au fost determinate in teza de doctorat „Utilizarea tuburilor termice pentru valorificarea formelor neconvenționale de energie”, autor asist.dr.ing. Andrei Burlacu, Universitatea Tehnică “Gherghe Asachi” din Iași, 2009.

Înlocuind în relația (4) se obține o ecuație de forma:

$$\frac{\alpha * d}{\lambda} = A * \left(\frac{v * d}{\nu} \right)^n * \left(\frac{c_p * \rho * \mu}{\alpha} \right)^m \quad (5)$$

Rezultatele obtinute experimental sunt:

- pentru vaporizator : $A_1=32.69$; $n_1=0.41$; $m_1=0.43$
- pentru condensator: $A_2=445.69$; $n_2= - 0.11$; $m_2=0.22$
- conductivitatea termica a aerului: $\lambda_{aer}=0.028 \text{ [W/m °C]}$
- conductivitatea termica a apei: $\lambda_{apa}=0.663 \text{ [W/m °C]}$
- vascozitatea aerului: $\nu_{aer}=35*10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]}$
- vascozitatea apei: $\nu_{apa}=0.444*10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]}$

Calculul coeficientului de convecție pentru aer, α_{aer} , conform datelor experimentale rezultă:

$$\alpha_{aer}=36.31; [W/m^2 \text{ } ^\circ C]$$

Coeficientului de convecție pentru apă este:

$$\alpha_{apa}=343.99. [W/m^2 \text{ } ^\circ C]$$

Înlocuind toate datele in relațiile (2), (3), din calculele experimentale rezultă:

$$Q_1=3117.8 [W] \quad Q_2=3392.55 [W]$$

Calculul volumului rezervorului

Rezervorul a fost dimensionat pentru prepararea unui volum de apă caldă de 84,78 litri, la temperatura de 40°C corespunzător necesarului specific de apă caldă de consum conform STAS 1478.

$$V = \pi * r^2 * h \quad [m^3] \quad (6)$$

Unde:

h- inaltimea rezervorului, h=1.2 m

r- raza rezervorului, r=0.15 m

$$V = 3.14 * 0.15^2 * 1.20$$

$$V = 0.08478 [m^3] = 84.78 [l]$$

Timpul necesar pentru prepararea volumului de apă caldă din rezervor s-a determinat astfel:

$$T = \frac{\rho_{apa} * V * c_{p_{apa}} * \Delta t_2}{Q_1} = \frac{1000 * 0.08478 * 4119 * 32}{3117.8} = 3584 [s] = 59.73 \text{ min} \quad (7)$$

Unde:

- ρ_{apa} - densitatea apei, $\rho_{apa}=1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$
- $c_{p_{apa}}$ - caldura specifica a apei, $c_{p_{apa}}=4119 \left[\frac{J}{kg * C^\circ} \right]$
- V – volumul rezervorului $[m^3]$
- Δt_2 -diferenta de temperatura a agentului secundar la intrare (t_{22}) si iesire (t_{21}) din condensator
- Q_1 –fluxul termic primit de la agentul primar in vaporizator, in [W]

În urma calculului a rezultat un timp de 59,73 min pentru prepararea unui volum determinat de 84,78 litri.

4. Analiză comparativă

Pentru a evidenția avantajele remarcabile ale acestui recuperator de căldură cu tuburi termice s-a realizat o analiză comparativă a sistemului prezentat cu un boiler electric de 2 kW de 80 de litri pentru prepararea apei calde la temperatură de 40°C.

Rezultatele sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

Analiza comparativă		
	boiler electric	recuperator de căldură cu tuburi termice
capacitate	80 l	85 l
consum energie electrică	2 kW	0
pret achiziție	400 ron	1500 ron
cost exploatare/an	4380 ron	~ 0 ron

Se observă în mod evident că deși recuperatorul de căldură cu tuburi termice are un cost de achiziție mai mare față de boilerul electric, investiția inițială se amortizează foarte repede, apa caldă preparându-se practic gratuit.

Un avantaj major îl constituie faptul că la defectarea unui tub termic sistemul funcționează în continuare spre deosebire de recuperatoarele de căldură clasice care își întrerup funcționarea.

5. Concluzii

Recuperatorul de căldură cu tuburi termice conceput, reprezintă o soluție fezabilă și eficientă pentru utilizarea din plin a energiei reziduale din procesele de ardere, în vederea preparării apei calde menajere, încălzirea încălțelor cu aer sau apă caldă, preîncălzirea apei de adăos sau de alimentare la cazane, precum și a aerului de combustie.

Rezultatele obținute pot fi valorificate prin producția industrială a acestor aparate, în scopul omologării pentru utilizare în instalațiile funcționale din clădiri.

Din punct de vedere al exploatarei, recuperatoarele de căldură cu tuburi termice neavând componente în mișcare determină cheltuieli de mentenanță și utilizare reduse.

Referințe

[1] Andrei Burlacu – Teza de doctorat – UTILIZAREA TUBURILOR TERMICE PENTRU VALORIFICAREA FORMELOR NECONVENTIONALE DE ENERGIE, Iasi, 2009

- [2] Andrei Burlacu, Sorin Theodoru - THE HEAT PIPES UTILIZATION FOR HOT WATER PREPARATION, the 19th International Conference of Inventics “Research and Performant Innovative Technologies”, Iasi, 26-29 May 2007
- [3] Andrei Burlacu, Sorin Theodoru - HEAT PIPES UTILIZATION FOR HEAT TRANSFER IN SOLAR INSTALATION, Scientific Conference VSU’2007, P.III - 12-14, May 15 – May 16, Sofia, Bulgaria, 2007
- [4] Andrei Burlacu – RESEARCHES REGARDING THE EFFICIENCY OF WATER TO AIR HEAT EXCHANGER WITH HEAT PIPES FOR THE MECHANICAL VENTILATION SYSTEM, P.III -56 -60, Jubilee International Scientific Conference VSU’2008, Sofia, Bulgaria, Mai 2008
- [5] Andrei Burlacu, Sorin Theodoru, THERMAL WASTE HEAT RECOVERY ACCUMULATOR FROM USED WATER INTO INDIVIDUAL HOUSEHOLD, P.III -42 -44, Jubilee International Scientific Conference VSU’2008, Sofia, Bulgaria, Mai 2008