

# **Doua tipuri de schimbatoare de caldura specifice instalatiilor in constructii.**

## **Evaluarea caracteristicilor termice**

Two types of heat exchangers specific to construction installations.  
Evaluation of thermal characteristics

Florin Iordache<sup>1</sup>, Alexandru Draghici<sup>2</sup>

Universitatea Tehnică de Construcții București  
Bd. Lacul Tei nr. 122 - 124, cod 020396, Sector 2, București, România  
E-mail:<sup>1</sup> [fliord@yahoo.com](mailto:fliord@yahoo.com), <sup>2</sup> [draghicial Alexandru23@yahoo.com](mailto:draghicial Alexandru23@yahoo.com)

DOI:10.37789/rjce.2020.11.2.10

**Rezumat.** Cele doua tipuri de schimbatoare de caldura specifice instalatiilor in constructii la care lucrarea face referire sunt: retelele termice arborescente care alimenteaza instalatiile de incalzire centrala si de preparare a apei calde de consum din cladirile urbane, respectiv schimbatoarele de caldura din cadrul buclelor de utilizare a energiei solare. In lucrare se prezinta procedurile de determinare a caracteristicilor termice (numarul de unitati de transfer termic, NTU si modulul termic, E) prin care se poate evalua transferul de flux termic in cadrul echipamentelor mentionate.

**Cuvinte cheie:** schimbatoare de caldura, transfer de flux termic

**Abstract.** In this paper, two types of heat exchangers specific to the building service systems are studied: the arborescent thermal networks that supply the central heating and domestic hot water preparation systems inside the urban buildings, respectively the heat exchangers connected in loops designed for solar energy use. The paper presents the procedures for determining the thermal characteristics (the number of transfer units, NTU and the so-called thermal module, E) that can be used for evaluating the heat flow transfer within the mentioned equipments.

**Keywords:** heat exchangers, heat transfer

### 1. Introducere

Desi destinata transportului si distributiei de agent termic intre sursa (centrala de cogenerare, punct termic etc) si consumatori, o retea termica poate fi privita ca un

schimbator de caldura prin prisma fluxului termic pierdut de agent catre mediul in care se afla instalate conductele retelei (ex: aerul din canalul termic).

In sisteme de dimensiuni mai reduse, precum cele care utilizeaza energia solara pentru a asigura confortul consumatorilor rezidentiali, pierderile pe traseu pot fi neglijate iar atentia este concentrata asupra schimbatoarelor de caldura propriu-zise. Pentru sistemele in care bucla solara este cuplata indirect la rezervorul de acumulare, primul schimbator de caldura este suprafata de captare solara prin care agentul termic isi creste temperatura iar al doilea este serpentina sau registrul imersat in rezervorul de acumulare al instalatiei consumatorului.

Evaluarea puterilor termice transferate in cadrul fiecaruia dintre cele doua tipuri de schimbatoare de caldura mentionate necesita cunoasterea caracteristicii constructiv functionale aferente, reprezentate de numarul unitatilor de transfer termic, NTU, sau de modulul termic asociat, E. In cadrul lucrarii, se va cauta descrierea procedurilor de determinare a acestor caracteristici, tinand cont de structura fiecaruia dintre sistemele studiate.

## 2. Determinarea si analiza caracteristicilor termice

### 2.1. *Reteaua termica arborescenta*

Reteaua termica arborescenta a unui sistem de incalzire districtual este compusa din sectiunea de tur, care leaga sursa de consumatori si sectiunea de retur, care leaga consumatorii de sursa. Ne vom referi efectiv la sectiunea de tur, care este un schimbator de caldura de tip arborescent. Asa cum se prezinta in lucrari anterioare [1, 2], la baza structurii arborescente a retelei termice sta un ansamblu de 3 tronsoane, conectate astfel incat debitul de pe primul tronson se divide in 2 debite care circula pe alte 2 tronsoane din aval. Acest nucleu de baza al structurii retelei se multiplica in diverse configuratii, pentru a asigura distributia debitului de agent termic de la sursa la toti consumatorii.

Caracteristicile termice ale unui tronson de retea sunt:

- numarul de unitati de transfer termic, NTU:

$$NTU = \frac{1}{\rho \cdot c} \cdot \frac{L}{R \cdot G} \quad (1)$$

- modulul termic asociat, E, care este o marime derivata din NTU:

Doua tipuri de schimbatoare de caldura specifice instalatiilor in constructii. Evaluarea caracteristicilor termice

$$E = \exp(-NTU) \quad (2)$$

- rezistenta termica a tronsonului:

$$R = \frac{1}{\alpha_i \cdot \pi \cdot D_i} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_t} \cdot \ln \frac{D_e}{D_i} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{D_{iz}}{D_e} + \frac{1}{\alpha_e \cdot \pi \cdot D_{iz}} \quad (3)$$

Conform [1, 2], modulul termic echivalent al unei structuri formate din doua tronsoane (1 si 2) legate in paralel se stabileste cu relatia:

$$E_{12} = \frac{G_1 \cdot E_1 + G_2 \cdot E_2}{G_1 + G_2} \quad (4)$$

iar, in cazul tronsoanelor inseriate, acesta are expresia:

$$E_{12} = E_1 \cdot E_2 \quad (5)$$

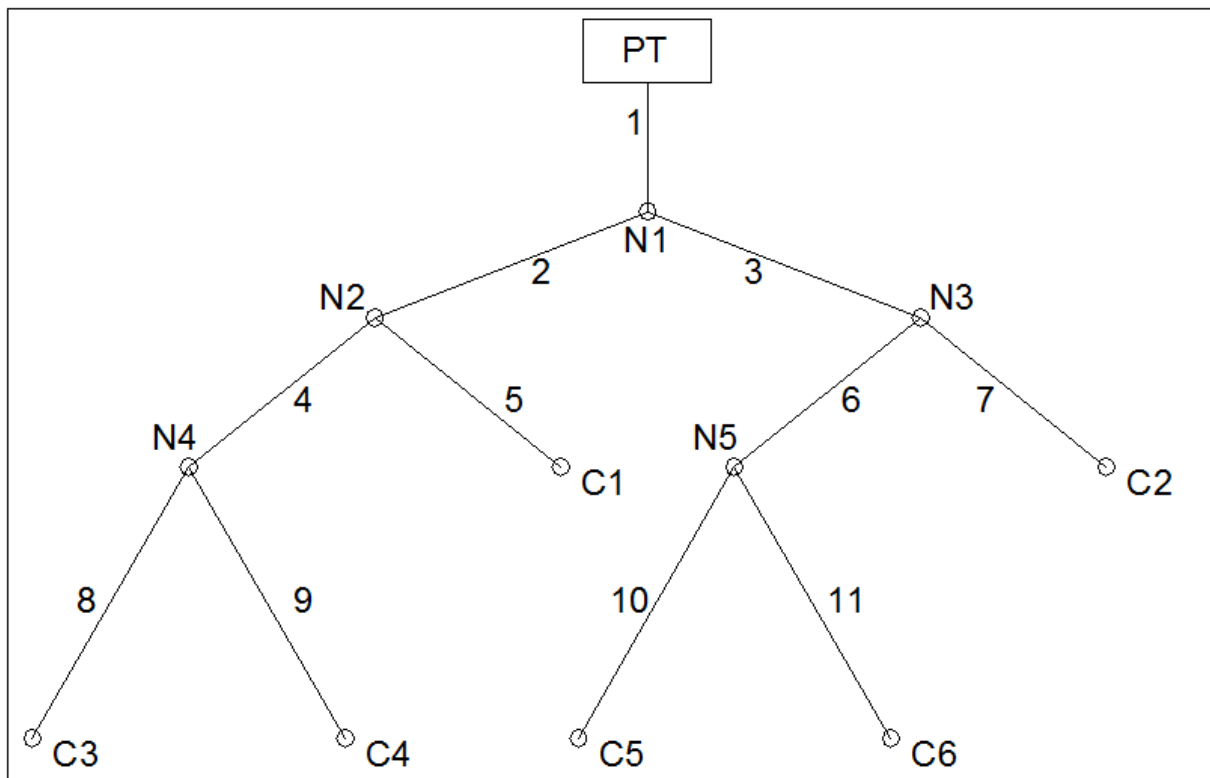


Fig. 1 – Geometria rețelei termice arborescente

In fig. 1 se observa 6 trasee de conducte de la punctul termic, PT, la fiecare din cei 6 consumatori (C1, C2 ... C6). Astfel, rețeaua termica arborescenta poate fi privita ca un fascicul de trasee de conducta avand capat de plecare comun sursa si capete

finale, consumatorii. Fiecare traseu reprezinta un ansamblu de tronsoane legate in serie, al carui modulul termic echivalent are o expresie de forma:

$$E_t = E_1 \cdot E_2 \cdot \dots \cdot E_n = \exp\left(-\sum_{k=1}^n NTU_k\right) \quad (6)$$

Dupa cum se prezinta in [3], relatia (6) ofera posibilitati de identificare experimentală in situ a gradului de izolare termică efectivă a fiecărui tronson din cadrul rețelei termice.

Pornind de la aceste elemente de baza prezentate pe larg in [1], [2] si [3], rezulta in continuare ca modulul termic al rețelei termice in ansamblu poate fi calculat conform legii tronsoanelor legate in paralel, ca o medie a modurilor de traseu, ponderata cu debitele de la capetele din aval ale traseelor respective:

$$E_{ech\_retea} = \frac{G_{C1} \cdot E_{t1} + \dots + G_{Cp} \cdot E_{tp}}{G_{C1} + G_{C2} + \dots + G_{Cp}} = \frac{\sum_{k=1}^p G_{Ck} \cdot E_{tk}}{G_{retea}} \quad (7)$$

unde  $G_{Ck}$  este debitul de agent termic la intrarea in instalatiile consumatorului de la capatul traseului "k" (de exemplu, pentru traseul PT - C3 din fig. 1,  $G_{C3} = G_8$ ).

Evaluand astfel modulul termic al intregii rețele, se poate stabili in continuare si valoarea numarului de unitati de transfer termic corespunzator :

$$NTU_{ech\_retea} = -\ln\left(E_{ech\_retea}\right) \quad (8)$$

Tinand seama de expresiile modurilor termici de traseu in functie de temperaturile agentului termic :

$$E_{tk} = \frac{t_{Rk} - t_c}{t_T - t_c} \quad (9)$$

si inlocuind relatia (9) in relatia (7), in urma unor prelucrari simple, rezulta ca temperatura medie de intrare a agentului termic in instalatiile consumatorilor este:

$$t_{Rm} = \frac{G_{C1} \cdot t_{R1} + \dots + G_{Cp} \cdot t_{Rp}}{G_{C1} + G_{C2} + \dots + G_{Cp}} = \frac{\sum_{k=1}^p G_{Ck} \cdot t_{Rk}}{G_{retea}} \quad (10)$$

Doua tipuri de schimbatoare de caldura specifice instalatiilor in constructii. Evaluarea caracteristicilor termice

Prin urmare, cunoasterea unui set de temperaturi ofera posibilitatea determinarii experimentale in situ a modulului termic echivalent pentru intreaga retea:

$$E_{ech\_retea} = \frac{t_{Rm} - t_c}{t_T - t_c} \quad (11)$$

Pe de alta parte, raportul de diferente de temperaturi din relatia (11) reprezinta eficienta retelei termice. Astfel:

$$\varepsilon_{retea} = E_{ech\_retea} \quad (12)$$

In continuare, se prezinta un exemplu de evaluare a modulului termic echivalent pe baza de diagrame. S-a pornit de la observatia ca numarul unitatilor de transfer termic asociat fiecarui tronson contine 3 parametri constructiv functionali de baza:

- R – rezistenta termica a tronsonului;
- G – debitul de agent termic prin tronson;
- L – lungimea tronsonului.

Astfel, s-a incercat corelarea modulului termic echivalent al retelei termice (determinat conform procedurii teoretice descrise) cu 2 parametri:  $(L/G)_m$  – media ponderata a rapoartelor  $(L/G)$  aferente tuturor tronsoanelor retelei si  $R_m$  – rezistenta termica medie a tronsoanelor retelei. Insa, deoarece valoarea  $R_m$  a fost variata in functie de grosimea izolatiei conductelor (considerata aceeasi pentru toate tronsoanele), corelatia  $E_{ech\_retea} = f(R_m)$  s-a redus la corelatia  $E_{ech\_retea} = f(\delta_{iz})$ , mai sugestiva decat prima.

Pentru a testa variatia  $E_{ech\_retea}$  in functie de geometria retelei termice, s-au considerat doua retele arborescente, comparabile intre ele prin debitele si lungimile tronsoanelor corespondente, dar diferite din punct de vedere al configuratiei (a se vedea cadranele superioare din fig. 2). Astfel, daca pentru reseaua **RT 1**, numarul de tronsoane de pe fiecare traseu creste de la C1 spre C6, reseaua **RT 2** este caracterizata prin trasee sursa - consumator avand toate aceeasi lungime si acelasi numar de tronsoane.

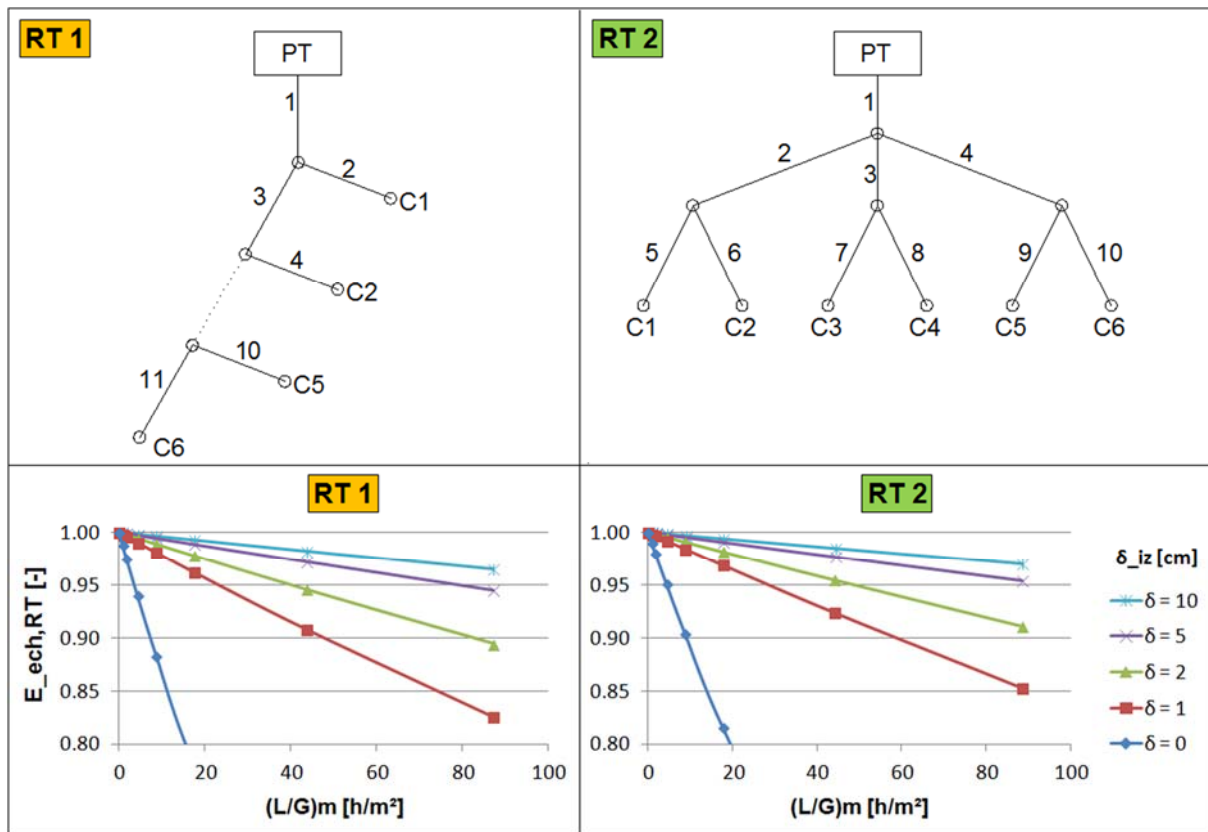


Fig. 2 – Doua tipuri de retele termice diferite din punct de vedere al geometriei

Corelarea valorilor modului termic echivalent al rețelei,  $E_{ech\_retea}$ , cu parametrii  $(L/G)_m$  și  $\delta_{iz}$  a condus la stabilirea unor diagrame din care se observa ca între  $E_{ech\_retea}$  și  $(L/G)_m$  exista o dependenta liniara. Fiecare dreapta are ordonata la origine egala cu 1.00 și o panta care difera in functie de gradul de izolare termica a conductelor,  $\delta_{iz}$ . Practic, s-a obtinut pentru fiecare dintre cele 2 tipuri de retele termice, cate un fascicul de drepte (cadrele inferioare din fig. 2). Un alt aspect important este faptul ca între cele 2 fascicule de drepte sunt diferite destul de mici, ceea ce conduce la concluzia ca, pentru retele al caror aspect variaza între configuratiile **RT 1** și **RT 2**, se poate lucra practic cu media valorilor  $E_{ech\_retea}$  citite pe cele doua diagrame, la valori  $(L/G)_m$  și  $\delta_{iz}$  date.

Utilitatea practica a celor doua tipuri de caracteristici termice ale rețelei (modulul termic,  $E_{ech}$  și numărul de unitati de transfer de caldura,  $NTU_{ech}$ ) consta, așa cum este pe larg prezentat in [1 - 4], in posibilitatea evaluarii fluxurilor termice disipate de retea și a temperaturilor cu care agentul termic ajunge la fiecare dintre consumatori.

## 2.2. Bucla instalatiei de captare a energiei solare

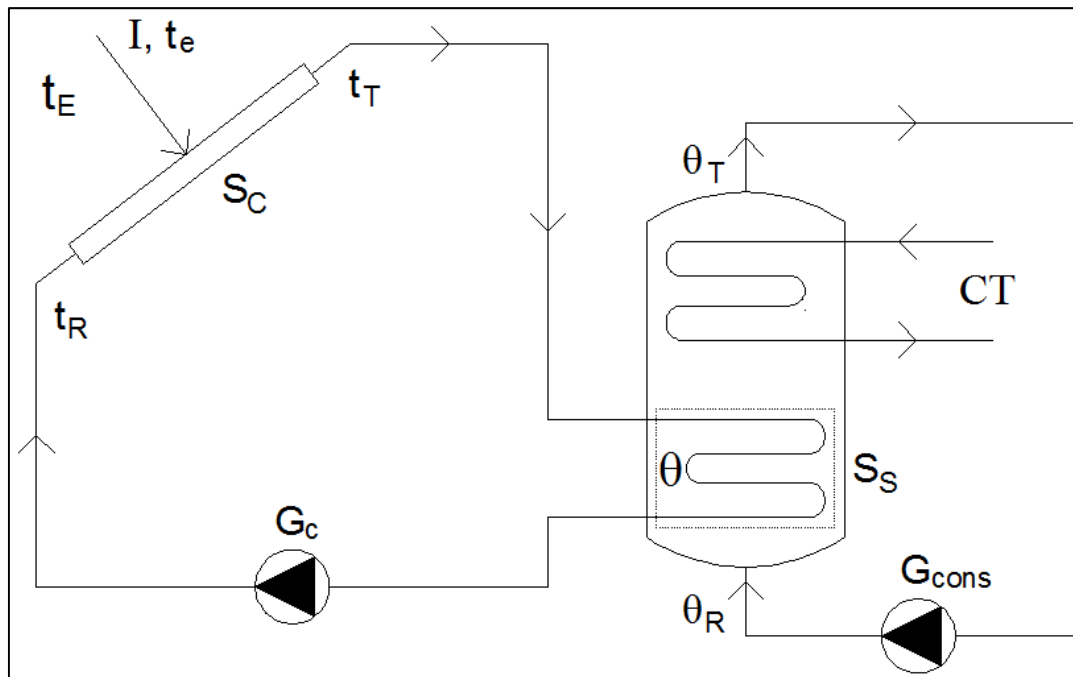


Fig. 3 – Suprafata de captare solara, legata in bucla cu serpentina din rezervor

In partea stanga a fig. 3 se observa bucla ce integreaza suprafata de captare solara cu schimbatorul de caldura imersat in rezervorul de acumulare. Descrierea proceselor de transfer termic in cadrul buclei solare a fost facuta in mai multe lucrari anterioare [4]. Astfel, pe baza ecuatiilor de bilant termic scrise in regim stationar pentru suprafata de captare solara, respectiv pentru serpentina imersata, s-a stabilit expresia modului termic al buclei:

$$E_{CS} = \frac{E_C \cdot (1 - E_S) + E_S \cdot (1 - E_C)}{1 - E_C \cdot E_S} \quad (13)$$

unde:

$$E_C = \exp\left(-\frac{F' \cdot k_C}{a \cdot \rho \cdot c}\right) = \exp(-NTU_C)$$

$$E_S = \exp\left(-\frac{k_S}{a \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{S_S}{S_C}\right) = \exp(-NTU_S) \quad (14)$$

Numarul de unitati de transfer termic aferent buclei rezulta conform relatiei:

$$NTU_{CS} = -\ln(E_{CS}) \quad (15)$$

S-a cautat in continuare sa se stabileasca niste relatii cu valente experimentale in situ sau in vitro, pe baza legaturilor intre modulii termici si temperaturile agentului termic pentru cele 2 schimbatoare de caldura legate in bucla. In fig. 4 se prezinta schematic diagrama temperaturilor agentului termic in cadrul buclei solare.

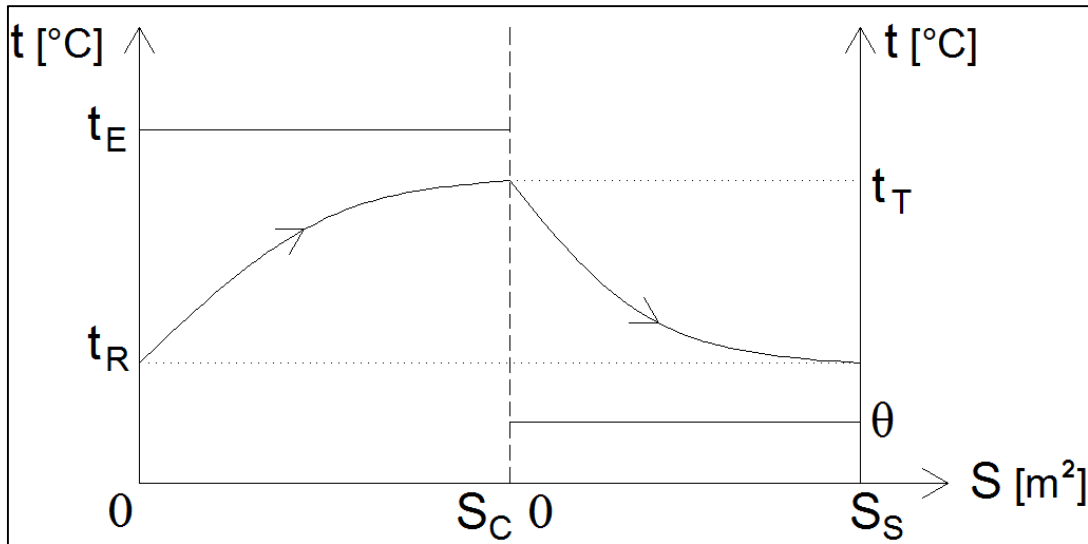


Fig. 4 – Distributia temperaturilor agentului termic in lungul suprafetelor S<sub>C</sub>, S<sub>S</sub>

Pe baza celor prezentate in [1 - 2] si a figurii 4, se poate scrie ca:

$$E_C = \frac{t_E - t_T}{t_E - t_R}; \quad E_S = \frac{t_R - \theta}{t_T - \theta} \quad (16)$$

Inlocuind expresiile (16) in relatia (13), rezulta:

$$E_{CS} = 1 - \frac{t_T - t_R}{t_E - \theta} = \frac{(t_E - t_T) + (t_R - \theta)}{t_E - \theta} \quad (17)$$

$$NTU_{CS} = \ln \frac{t_E - \theta}{(t_E - t_T) + (t_R - \theta)} \quad (18)$$

Asa cum s-a mentionat, relatiile (17) si (18) permit determinarea experimentală a caracteristicilor constructiv functionale ale buclei solare. In continuare, cunoasterea modulului termic al buclei si a parametrilor termici externi (t<sub>E</sub>, θ) permite simularea comportamentului termic dinamic al sistemului prin evaluarea fluxurilor termice transferate in diverse conditii de exploatare.



Doua tipuri de schimbatoare de caldura specifice instalatiilor in constructii. Evaluarea caracteristicilor termice

Eficienta celor 2 schimbatoare de caldura legate in bucla poate fi definita ca:

$$\varepsilon_{CS} = \frac{t_T - t_R}{t_E - \theta} = 1 - E_{CS} \quad (19)$$

Utilitatea practica a celor doua tipuri de caracteristici termice ale buclei de schimbatoare de caldura (modulul termic,  $E_{CS}$  si numarul de unitati de transfer de caldura,  $NTU_{CS}$ ) consta, asa cum este pe larg prezentat in [1 - 4], in evaluarea fluxurilor termice transferate si a temperaturilor cu care agentul termic circula in cadrul buclei.

### 3. Concluzii

In prima parte a lucrarii se prezinta o procedura de evaluarea a caracteristicii termice pentru o retea termica arborescenta (modulul termic al retelei sau numarul de unitati de transfer termic aferent). Valoarea acesteia se determina pe baza caracteristicilor constructiv functionale ale componentelor retelei sau, dupa cum se prezinta in lucrare, poate fi estimata pe cale experimentală. Cunoasterea acestei caracteristici termice ofera posibilitatea evaluarii fluxurilor termice disipate si deci, a cantitatilor de caldura pierdute pe anumite perioade de timp.

In partea a doua a lucrarii se investigheaza situatia a 2 schimbatoare de caldura legate in bucla, prezentandu-se relatiile de determinare a modulului termic al buclei si a numarului de unitati de transfer termic aferent. La fel ca in cazul anterior, se precizeaza modalitatea de evaluare experimentală a acestor caracteristici termice. Cunoasterea modulului termic al buclei de captare solara formate din cele 2 schimbatoare de caldura ofera posibilitatea estimarii eficientei acesteia si deci, a puterilor termice si a cantitatilor de caldura transferate in timp.

### Lista de Notatii

#### *Retele termice*

RT – retea termica

L – lungime tronson, m;

G – debit agent termic, m<sup>3</sup>/s;

$\rho$  – densitate agent termic, kg/m<sup>3</sup>;

c – caldura specifica a agentului termic, J/(kg.K);

$R$  – rezistența termică liniară a tronsonului,  $m.K/W$ ;  
 $D_i$  – diametrul interior al conductei,  $m$ ;  
 $D_e$  – diametrul exterior al conductei,  $m$ ;  
 $D_{iz}$  – diametrul exterior al izolației conductei,  $m$ ;  
 $\delta_{iz}$  – grosimea izolației termice,  $m$ ;  
 $\alpha_i$  – coeficientul de transfer termic convectiv la interiorul conductei,  $W/(m^2.K)$ ;  
 $\alpha_e$  – coeficientul de transfer termic superficial la exteriorul izolației,  $W/(m^2.K)$ ;  
 $\lambda_t$  – conductivitatea termică a peretelui conductei,  $W/(m.K)$ ;  
 $\lambda_{iz}$  – conductivitatea termică a izolației termice,  $W/(m.K)$ ;  
 $n$  – numărul total de transoane din cadrul unui traseu, -;  
 $p$  – numărul total de trasee din cadrul rețelei, -;  
 $t_T$  – temperatura de intrare a agentului termic în rețea,  $^{\circ}C$ ;  
 $t_{Rk}$  – temperatura de ieșire a agentului termic din traseul "k" de conducte,  $^{\circ}C$ ;  
 $t_c$  – temperatura din canalul termic,  $^{\circ}C$ ;  
 $(L/G)_m$  – valoarea medie a rapoartelor  $(L/G)$  aferente tronsoanelor rețelei,  $h/m^2$ ;  
 $R_m$  – valoarea medie a rezistențelor termice aferente tronsoanelor rețelei,  $m.K/W$ ;  
 $NTU$  – numărul de unități de transfer termic aferent unui tronson de rețea, -;  
 $NTU_{ech\_rețea}$  – numărul de unități de transfer termic asociat rețelei, -;  
 $E$  – modulul termic al unui tronson de rețea, -;  
 $E_t$  – modulul termic al unui traseu de conducte, -;  
 $E_{ech\_rețea}$  – modulul termic al rețelei, -;  
 $\epsilon_{RT}$  – eficiența rețelei termice, -;

### *Schimbatoare de căldură legate în buclă*

$t_E$  – temperatura echivalentă exterioară,  $^{\circ}C$ ;  
 $t_T$  – temperatura de ieșire a agentului termic din suprafața de captare solară,  $^{\circ}C$ ;  
 $t_R$  – temperatura de intrare a agentului termic în suprafața de captare solară,  $^{\circ}C$ ;  
 $\theta$  – temperatura apei din rezervorul de acumulare,  $^{\circ}C$ ;  
 $k_C$  – coeficientul global de transfer termic al suprafeței de captare solară,  $W/(m^2.K)$ ;  
 $k_S$  – coeficientul global de transfer termic al serpentinei imersate,  $W/(m^2.K)$ ;  
 $S_C$  – suprafața de captare solară,  $m^2$ ;  
 $S_S$  – suprafața serpentinei imersate,  $m^2$ ;  
 $a$  – debit specific de agent termic prin suprafața de captare solară,  $m^3/(s.m^2)$ ;  
 $F'$  – factor de corecție al fluxului termic captat din energia solară, -;  
 $NTU_C$  – numărul de unități de transfer termic al suprafeței de captare solară, -;  
 $NTU_S$  – numărul de unități de transfer termic al serpentinei imersate, -;  
 $NTU_{CS}$  – numărul de unități de transfer termic al buclei de captare solară, -;

Doua tipuri de schimbatoare de caldura specifice instalatiilor in constructii. Evaluarea caracteristicilor termice

$E_C$  – modulul termic al suprafetei de captare solara, -;

$E_S$  – modulul termic al serpentinei imersate, -;

$E_{CS}$  – modulul termic al buclei de captare solara, -;

$\epsilon_{CS}$  – eficienta buclei de captare solara, -;

## **Bibliografie**

1. Florin Iordache – Comportamentul dinamic al echipamentelor si sistemelor termice, ed. a 3-a – editura Matrixrom, Bucuresti, 2008;
2. Florin Iordache – Energetica echipamentelor si sistemelor termice din instalatii – editura Conspress, Bucuresti, 2010;
3. Florin Iordache – Echipamente si sisteme termice. Metode de evaluare energetica si functionala (culegere de articole) – pag. 38-44: Identificarea hidro-termica a retelelor termice (Florin Iordache) – editura Matrixrom, Bucuresti, 2017;
4. Florin Iordache – Sisteme de utilizare a surselor regenerabile. Metode de evaluare energetica si dimensionare – pag. 1-14: Utilizarea energiei solare pentru incalzirea spatiilor si prepararea apei calde de consum. Evaluarea performantelor energetice (Florin Iordache, Mugurel Talpiga, Eugen Mandric); pag. 15-26: Optimizarea sistemelor de utilizare a energiei solare pentru incalzirea spatiilor si prepararea apei calde in cladiri (Mugurel Talpiga, Eugen Mandric, Florin Iordache) – editura Matrixrom, Bucuresti, 2018;