

## **Evaluarea fluxului termic emis de agentul termic care circula printr-o conducta ingropata**

Evaluation of the thermal flow from the thermal agent that flows through a buried pipeline

prof. dr. ing. Florin Iordache – UTCB-FII<sup>1</sup>  
drd. ing. Adrian Marin - UTCB-FII

<sup>1</sup>Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti  
Facultatea de Inginerie a Instalatiilor  
Bdul. Pache Protopopescu, 66, Romania  
[fliord@yahoo.com](mailto:fliord@yahoo.com)

### **Rezumat**

Lucrarea are ca obiectiv identificarea unor proceduri care sa permita operarea cu usurinta asupra evaluarilor termice in cazul conductelor ingropate in sol din cadrul retelelor termice. Pentru conducta reala ingropata in sol se stabileste o conducta echivalenta caracterizata de aceeasi valoare a fluxului termic disipat insa plasata direct in mediul exterior.

Se defineste si notiunea de eficienta a tronsoanelor de conduct ape baza careia se poate evalua performanta energetica a unei retele termice din cadrul sistemelor de alimentare centralizata cu energie termica.

**Cuvinte cheie:** flux termic, evaluare

### **Abstract**

The paper aims to identify procedures that enable easy operation of thermal evaluations on pipelines buried in soil of the thermal networks. For real pipe buried in the ground it establishes a pipe characterized by the same equivalent amount of dissipated heat flow but placed directly in the external environment.

It defines the notion of effective pipeline upon which it can assess the energy performance of heating systems in systems of centralized heat supply.

**Keywords:** thermal flow, evaluation

## **1. Introducere**

Obiectivul urmarit in cadrul lucrarii este cel se a elabora o procedura practica cat mai exacta de evaluare a fluxului termic disipat de la un agent termic care circula printr-o conducta izolata ingropata in sol.

Dupa cum se stie, a inceput mai de mult reabilitarea sistemelor de alimentare centralizata cu caldura din marile centre urbane. Una dintre masurile de reabilitare este inlocuirea vechilor conducte uzate aflate in canal termic cu conducte noi preizolate cu cochilii de poliuretan si ingropate in sol.

Pentru elaborarea acestei proceduri sa adoptat modelul propus de profesor Nicolae Leonachescu in lucrarea [1]. Metoda descrisa in [1] este o metoda inginereasca cu un grad foarte bun de aproximare, si pe care s-a considerat oportun sa o adoptam si in cazul conductei izolate ingropate in sol.

## 2. Descrierea problemei si a procedurii de rezolvare

Se considera un tronson de conducta din cadrul retelei de transport sau de distributie a unui sistem centralizat de alimentare cu caldura a consumatorilor din mediul urban. Prin tronsonul de conducta circula agentul termic care are o temperatura sensibil mai mare decat a mediului exterior, motiv pentru care apare, dinspre agentul termic, prin peretele conductei, prin stratul de izolatatie termica si prin solul adiacent conductei un flux termic care migreaza spre mediu exterior aflat deasupra suprafetei solului.

Este foarte important a preciza conditiile la limite, pentru a intelege cum se pune problema. Astfel la interiorul conductei, circulatia agentului termic fiind o circulatie fortata apare un fluxul termic disipat spre fata interioara a conductei se se face prin convective fortata, conditia la limita fiind de speta a 3-a (fluxul termic convectiv fiind egal cu fluxul termic conductiv care intra in peretele conductei. In continuare migratia fluxului termic se face prin conductie. Astfel la interfata dintre peretele conductei si stratul de izolatatie termica al conductei conditia la limita va fi de speta a 4-a si la fel si la interfata dintre stratul de izolatatie si solul inconjurator. La suprafata solului conditia la limita va fi de speta a 3-a ceea ce inseamna ca fuxul termic conductiv va fi preluat convectiv si radiant de mediul exterior.

Din punct de vedere constructiv si functional, sistemul termic este definit prin:

- Adancimea de ingropare a conductei ca distanta intre suprafata solului si tangenta orizontala la cercul extern al izolatiei termice,  $h$  (m);
- Raza interioara a conductei,  $r_i$  (m);
- Grosimea peretelui conductei,  $g_t$  (m);
- Grosimea stratului de izolatatie,  $g_{iz}$  (m);
- Conductivitatea termica a peretelui conductei,  $\lambda_t$  (W/m.K);
- Conductivitatea termica a cochiliei de izolatatie,  $\lambda_{iz}$  (W/m.K);
- Conductivitatea termica a solului,  $\lambda_s$  (W/m.K);
- Coeficientul de transfer termic convectiv de la fluid la suprafata interioara a conductei,  $\alpha_i$  (W/m<sup>2</sup>.K);

Evaluarea fluxului termic emis de agentul termic care circula printr-o conducta ingropata

- Coeficientul de transfer termic superficial la suprafata solului,  $\alpha_e$  ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ );
- Temperatura agentului termic vehiculat prin conducta,  $t_{ag}$  ( $^{\circ}\text{C}$ );
- Temperatura exterioara,  $t_e$  ( $^{\circ}\text{C}$ );

Ipoteza de baza a modelului lucru abordat este faptul ca liniile de flux termic sunt arce de cerc si segmente liniare racordate intre ele de la suprafata exterioara a izolatiei termice la suprafata solului (astfel incat linia fluxului termic sa fie o functie neteda - derivabila). Aceasta ipoteza reprezinta o aproximatie, dat fiind ca in realitate liniile de flux nu sunt chiar arce de cerc. In continuare se prezinta procedura propriu-zisa :

a. Mai intai se stabileste rezistenta termica liniara aferenta conductei propriu-zise pana la suprafata izolatiei termice in contact cu solul.

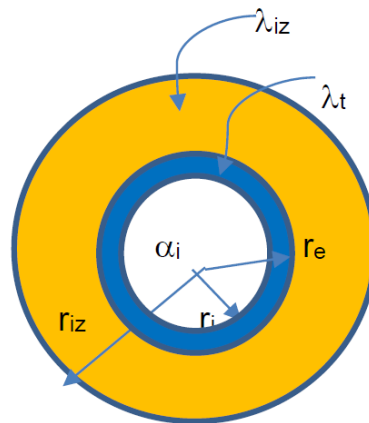


Fig. 1

$$R_l = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot \alpha_i} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_t} \cdot \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right) + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}} \cdot \ln\left(\frac{r_{iz}}{r_e}\right) \quad (1)$$

b. In continuare se transforma aceasta rezistenta termica liniara intr-o rezistenta termica superficiala la nivelul fetei exterioare a izolatiei conductei, prin inmultire cu lungimea cercului corespunzator acestei circumferinte si se adauga rezistenta termica aferenta coeficientului superficial de la suprafata solului:

$$R_s = \frac{r_{iz}}{r_i \cdot \alpha_i} + \frac{r_{iz}}{\lambda_t} \cdot \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right) + \frac{r_{iz}}{\lambda_{iz}} \cdot \ln\left(\frac{r_{iz}}{r_e}\right) + \frac{1}{\alpha_e} \quad (2)$$

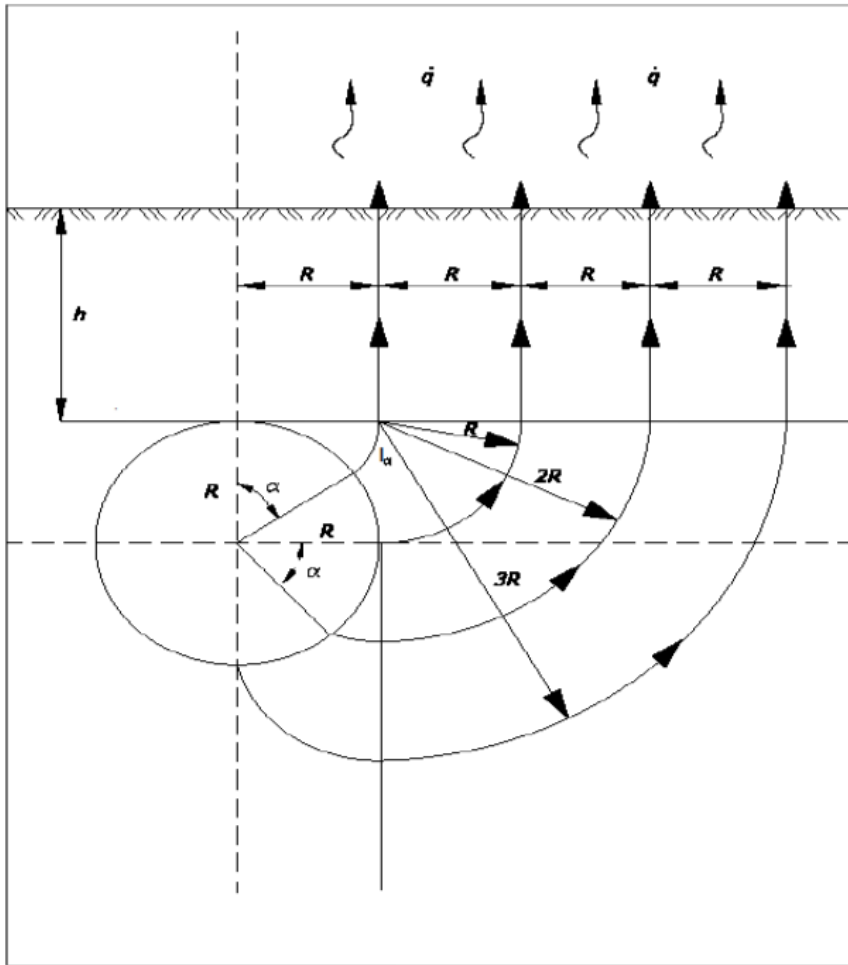


Fig. 2

c. Cercul sectiunii transversale prin conducta izolata se considera formata din 2 emisfere - un semicerc superior si un semicerc inferior. Daca ne referim mai intai la semicercul superior, se va stabili expresia lungimii liniei de flux termic de la suprafata cercului la suprafata solului. Lungimea acestei linii se compune din 2 portiuni : prima care pleaca de la suprafata cercului izolatiei termice si pana la tangenta orizontala la partea superioara a cercului izolatiei, care este un arc de cerc, iar a doua are ca lungime, adancimea de ingropare a conductei, h. Lungimea arcului de cerc (prima portiune) rezulta usor din fig. 1 ca fiind :

$$l(\alpha) = \alpha \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot r_{iz} \quad (3)$$

Rezulta in consecinta ca lungimea liniei de curent este:

$$Ls(\alpha) = \alpha \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot r_{iz} + h \quad (4)$$

Evaluarea fluxului termic emis de agentul termic care circula printr-o conducta îngropată

În relațiile (3) și (4),  $\alpha$  - este unghiul măsurat în radiani față de verticala care trece prin centrul cercului și ia valori între 0 și  $\pi/2$ .

d. Trecând acum la semicercul inferior, se observă că linia de curent este compusă din 3 porțiuni: prima porțiune este un arc de cerc, raza acestuia fiind ca mărime până în raza cercului conductei izolate, a doua porțiune este un sfert de cerc cu o rază cuprinsă între raza cercului conductei izolate și triplul acesteia, iar a treia porțiune este adâncimea de îngropare a conductei. În consecință :

$$l1(\alpha) = \alpha \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot r_{iz} \quad (5)$$

$$l2(\alpha) = \frac{\pi}{2} \left(1 + 2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right) \cdot r_{iz} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} Li(\alpha) &= \alpha \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot r_{iz} + \frac{\pi}{2} \left(1 + 2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right) \cdot r_{iz} + h = \\ &= \left[\frac{\pi}{2} + (\alpha + \pi) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right] \cdot r_{iz} + h \end{aligned} \quad (7)$$

e. Aceste lungimi se vor raporta la conductivitatea solului și rezulta rezistențele termice conductive ale liniilor de curent prin sol :

$$\begin{aligned} r_s(\alpha) &= \frac{\alpha \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot r_{iz} + h}{\lambda_s} \\ r_i(\alpha) &= \frac{\left[\frac{\pi}{2} + (\alpha + \pi) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right] \cdot r_{iz} + h}{\lambda_s} \end{aligned} \quad (8)$$

f. Se stabilesc rezistențele termice totale superioare și inferioare adunând la cele de mai sus rezistența  $R_s$ , și rezulta :

$$\begin{aligned} R_s(\alpha) &= \frac{\alpha \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot r_{iz} + h}{\lambda_s} + R_s \\ R_i(\alpha) &= \frac{\left[\frac{\pi}{2} + (\alpha + \pi) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right] \cdot r_{iz} + h}{\lambda_s} + R_s \end{aligned} \quad (9)$$

g. Rezulta în consecință expresiile transmitanțelor termice aferente celor două

zone, superioara si inferioara (unitatea de masura va fi  $W/m^2.K$ ):

$$\begin{aligned}
 U_s(\alpha) &= \frac{1}{R_s(\alpha)} \\
 U_i(\alpha) &= \frac{1}{R_i(\alpha)}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

h. Se integreaza in continuare numeric expresiile transmitantelor din relatia (10) pe lungimea semicercului superior si respectiv pe lungimea semicercului inferior (unitatea de masura a rezultatului integrarii va fi  $W/m.K$ ) :

$$\begin{aligned}
 U_s &= 2 \cdot \int_0^{\pi/2} U_s(\alpha) \cdot d\alpha \\
 U_I &= 2 \cdot \int_0^{\pi/2} U_i(\alpha) \cdot d\alpha
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

i. In continuare rezultatele integrarii se multiplica cu diferenta de temperatura ( $t_{ag} - t_e$ ) si se obtine fluxul termic liniar prin semicercul superior si respectiv inferior (in  $W/m$ ) :

$$\begin{aligned}
 \Phi_s &= U_s \cdot (t_{ag} - t_e) \\
 \Phi_I &= U_I \cdot (t_{ag} - t_e)
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

j. Ultima operatiune este de a aduna cele doua fluxuri termice liniare pentru a obtine fluxul termic liniar aferent intregii sectiuni transversale prin conducta izolata (in  $W/m$ ).

$$\Phi_T = \Phi_s + \Phi_I
 \tag{13}$$

Conform procedurii descrise, se observa ca liniile de flux termic au lungimi diferite ceea ce face ca rezistentele termice sa fie diferite in functie de pozitia punctului de pe suprafata circumferintei sectiunii transversale prin conducta analizata. Evident cel mai scurt traseu al liniei de flux termic este cel care porneste din punctul superior de pe circumferinta sectiunii si care are lungimea - h, si cel mai lung traseu este cel care porneste din punctul diametral opus si care are lungimea -  $2 \cdot \pi \cdot (r_i + g_t + g_{iz}) + h$ . Lungimile fiind diferite, inseamna ca rezistentele termice ale stratului de pamant sunt diferite si in consecinta rezistentele termice si deci densitatile de fluxuri termice punctuale vor fi diferite. Insumarea continua (integrala) fluxurilor termice pe suprafata de sol aferenta conductei - ( $8 \cdot (r_i + g_t + g_{iz})$ ), conduce la valoarea efectiva a fluxului termic liniar disipat.

### 3. Situatii constructive. Conducta echivalenta termic.

Cercetarile efectuate pe aceasi problema utilizand softuri specializate de tip CFD au condus la fluxuri termice liniare ceva mai mari decat cele stabilite cu aceasta procedura, diferenta fiind in medie de 12%. Aceasta diferenta privind subestimarea valorilor fluxurilor termice liniare consideram ca se datoreaza limitarii suprafetei exterioare de disipare a fluxului termic la fata solului, impusa in cadrul procedurii prezentate. Se prezinta in continuare relatiile de legatura intre valorile fluxului termic linear rezultat prin aplicarea unor softuri specializate de tip CFD si procedura propusa in lucrare de fata in cazul conductelor ingropate cu diametrul interior intre 10 cm si 40 cm si grosime a izolatiei termice de 5 cm. Adancimea de ingropare a conductei a fost intre 20 cm si 100 cm.

S-au stabilit valorile fluxurilor termice liniare pentru cateva variante constructive, care se diferentiaza intre ele prin adancimea de ingropare a conductei ( $h$ ) si prin raza interioara a conductei ( $r_i$ ).

- $h = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$  (m);
- $r_i = 0,05; 0,10; 0,15; 0,20$  (m);
- $g_t = 0,005$  (m);
- $g_{iz} = 0,05$  (m);
- $\lambda_t = 50$  (W/m.K);
- $\lambda_{iz} = 0,04$  (W/m.K);
- $\lambda_s = 1,2$  (W/m.K);
- $\alpha_i = 500$  (W/mp.K);
- $\alpha_e = 20$  (W/mp.K);

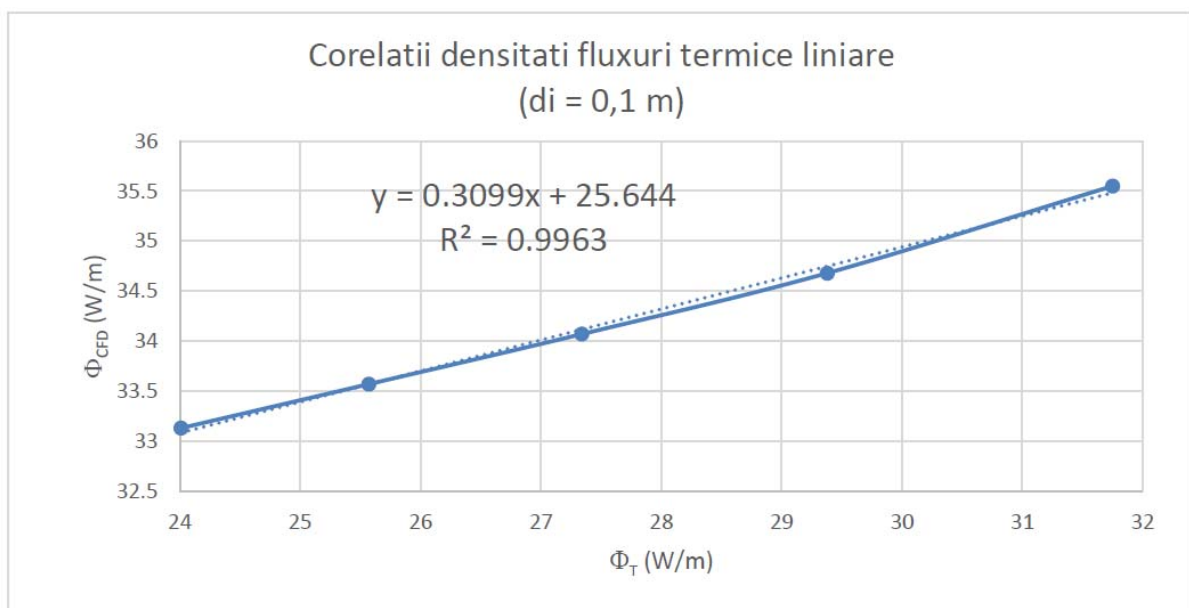


Fig. 3

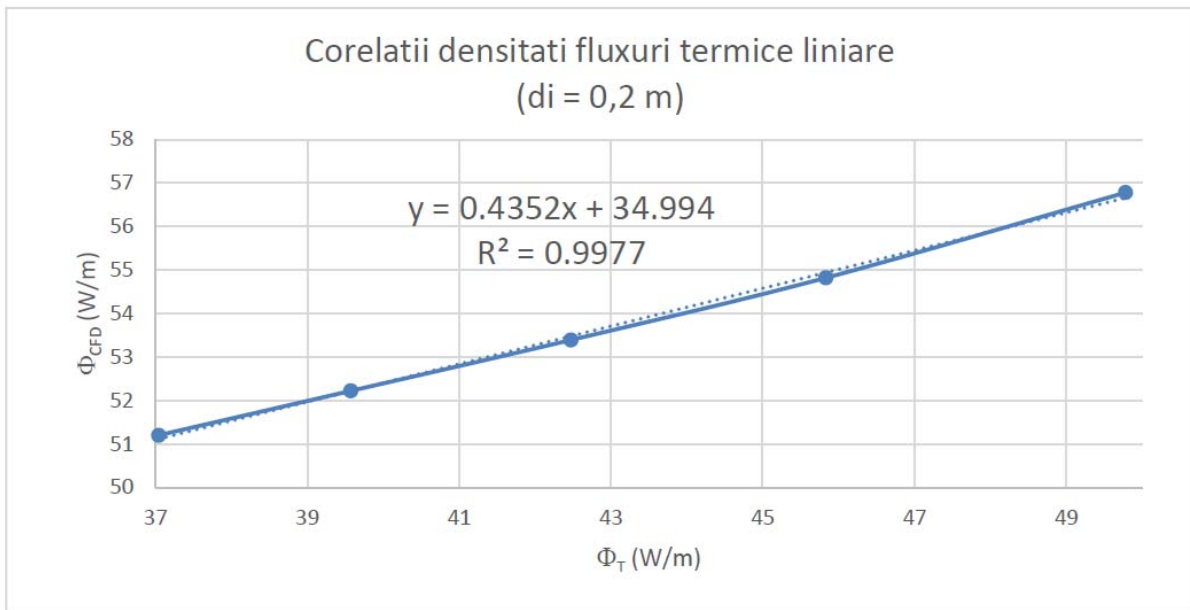


Fig. 4

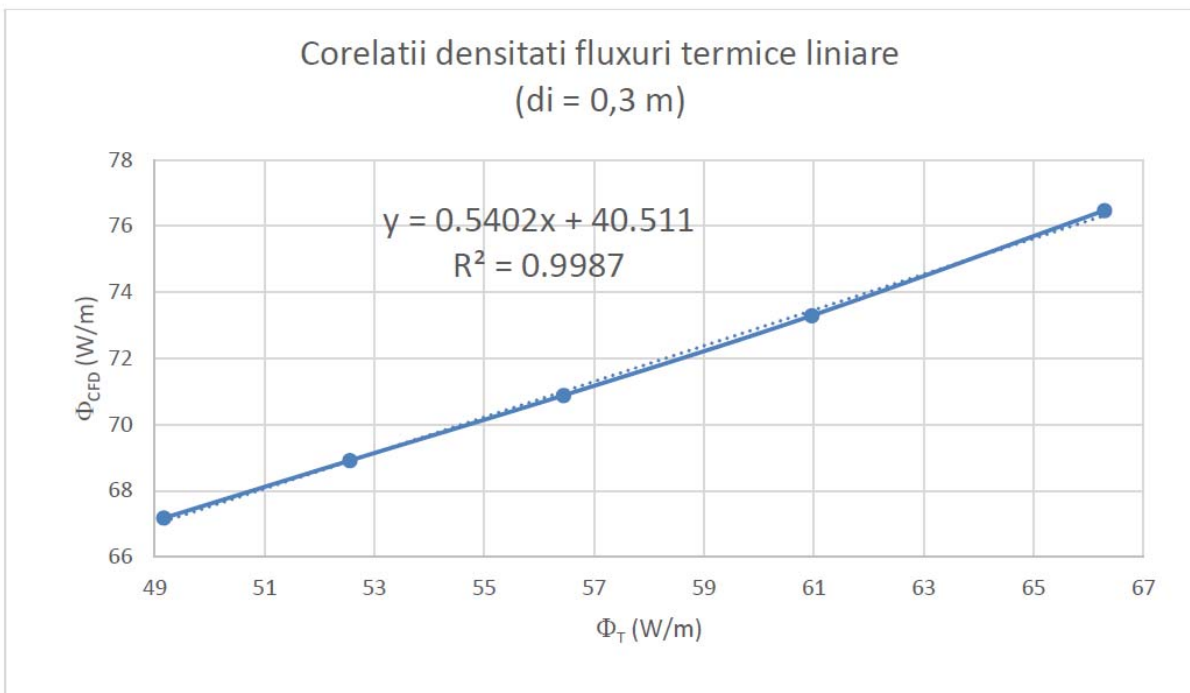


Fig. 5



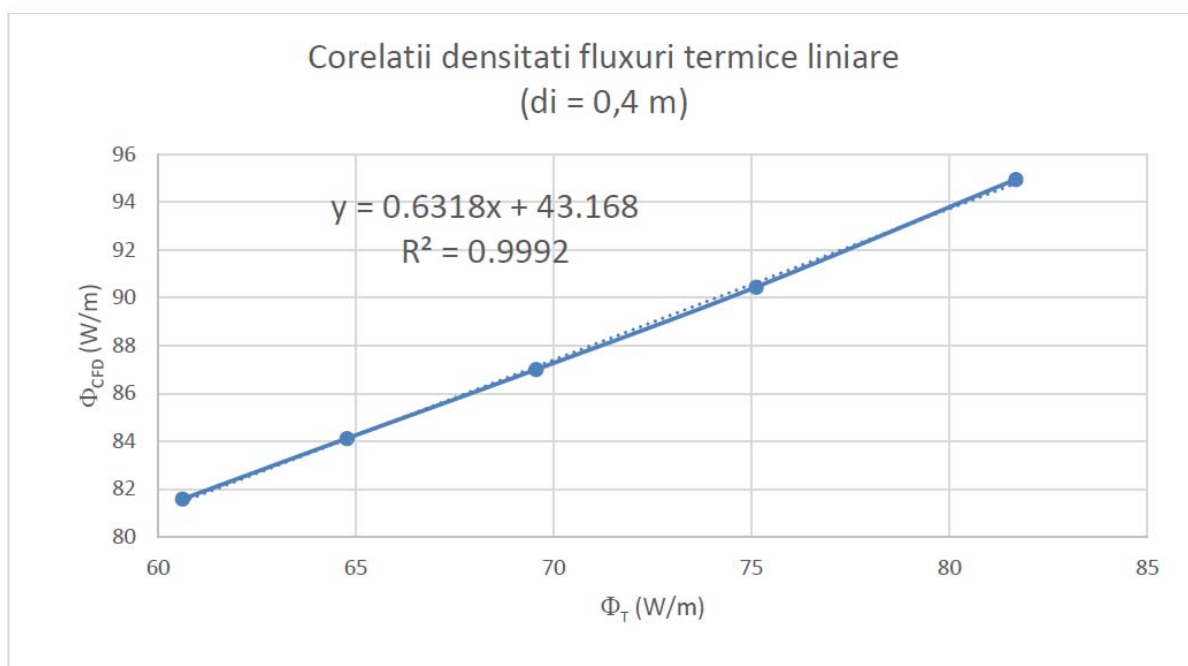


Fig. 6

Pornind de la valorile fluxurilor termice liniare rezultate aplicand softuri de specialitate de tip CFD sau procedura corectata expusa in lucrarea de fata s-a urmarit in continuare definirea conceptului de conducta echivalenta termic, adica o conducta aflata in mediul exterior care avand acelasi diametru ca si conducta reala este caracterizata de acelasi flux termic linear disipat ca si conducta reala ingropata in sol la o anumita adancime. A rezultat pentru conducta echivalenta termic o grosime de izolatia suplimentara fata de grosimea de izolatia a conductei reale suplimentara de izolatia care echivaleaza cu stratul de sol in care este ingropata conducta. Testele efectuate au aratat ca suplimentul de grosime de izolatia aferent conductei echivalente nu depinde de diferentele potential termic intre fluidul din conducta si mediul exterior. Se prezinta in continuare rezultatele concrete obtinute :

Tabel 1 :  $r_i = 0,05$  m;  $g_{iz} = 0,05$  m

$h$ (m) =	$q$ (W/m)	$g_{iz}$ (m)	$\Delta g_{iz}$ (%)
0.2	21.33	0.054	8
0.4	20.81	0.056	12
0.6	20.44	0.0575	15
0.8	20.14	0.0588	18
1	19.88	0.06	20

Tabel 2 :  $r_i = 0,10 \text{ m}$ ;  $g_{iz} = 0,05 \text{ m}$

$h \text{ (m)} =$	$q \text{ (W/m)}$	$g_{iz} \text{ (m)}$	$\Delta g_{iz} \text{ (\%)}$
0.2	56.78	0.056	12
0.4	54.82	0.0587	17
0.6	53.39	0.0608	22
0.8	52.22	0.0625	25
1	51.2	0.0642	28

Tabel 3 :  $r_i = 0,15 \text{ m}$ ;  $g_{iz} = 0,05 \text{ m}$

$h \text{ (m)} =$	$q \text{ (W/m)}$	$g_{iz} \text{ (m)}$	$\Delta g_{iz} \text{ (\%)}$
0.2	76.47	0.058	16
0.4	73.29	0.0612	22
0.6	70.88	0.0636	27
0.8	68.91	0.0659	32
1	67.17	0.068	36

Tabel 4 :  $r_i = 0,20 \text{ m}$ ;  $g_{iz} = 0,05 \text{ m}$

$h \text{ (m)} =$	$q \text{ (W/m)}$	$g_{iz} \text{ (m)}$	$\Delta g_{iz} \text{ (\%)}$
0.2	56.97	0.0598	20
0.4	54.27	0.0634	27
0.6	52.2	0.0664	33
0.8	50.47	0.0691	38
1	48.95	0.0717	43

Rezultatele din tabele 1 ...4 sunt prezentate grafic in fig. 7 :

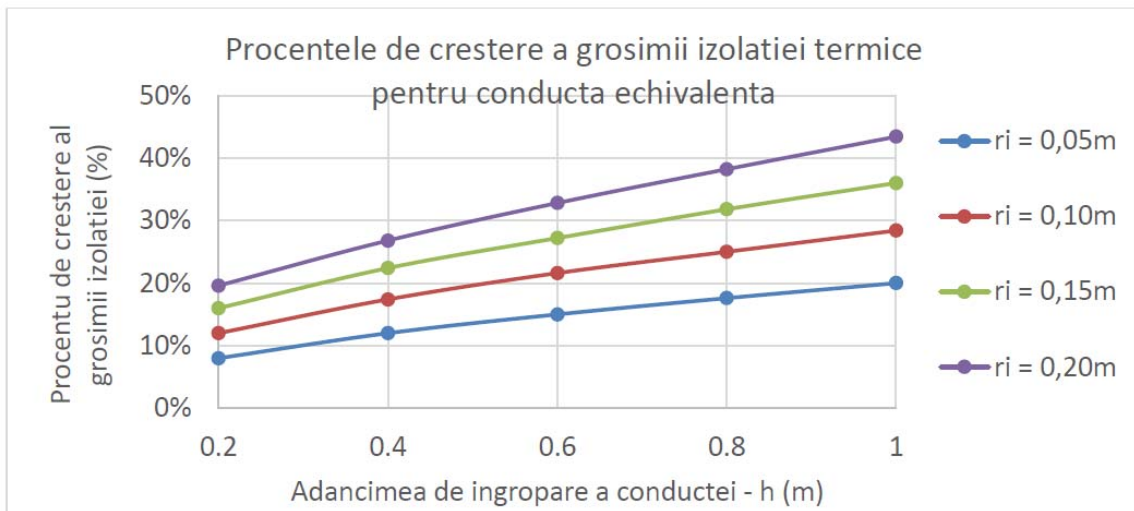


Fig. 7

Evaluarea fluxului termic emis de agentul termic care circula printr-o conducta ingropata

Rezultatele prezentate in tabelele 1...4 si in fig. 7 atesta faptul ca situatia reala e conductei reale, izolata cu cochilie de poliuretan si ingropata in sol la o anumita adancime poate fi teoretic inlocuita cu o conducta echivalenta plasata in mediul exterior, conducta izolata insa cu cochilie de poliuretan avand grosime sporita in functie de diametrul conductei si de adancimea de ingropare a conductei. Acest lucru usureaza operarea cu parametrii termici si energetici necesari in evaluarile performantelor energetice ale retelei termice din care fac parte diversele tronsoane de conducta.

In contextul discutiei despre performanta energetica a unui tronson de conducta prin care se transporta un agent termic se poate defini eficienta tronsonului ca raport intre randamentul real de transport al tronsonului si randamentul de dimensionare al tronsonului. Se defineste randamentul tronsonului ca raport intre entalpia agentului termic la iesirea din tronson si entalpia agentului termic la intrarea in tronsonul de conducta. Evaluarea entalpiei se face ca exergie fata de temperatura mediului ambiental conductei. Astfel :

$$\begin{aligned}\eta_R &= \frac{G \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{1R} - t_e)}{G \cdot \rho \cdot c \cdot (t_0 - t_e)} = \frac{(t_{1R} - t_e)}{(t_0 - t_e)} = \frac{E_R \cdot (t_0 - t_e)}{(t_0 - t_e)} = E_R \\ E_R &= \exp(-NTU_R) \\ NTU_R &= \frac{1}{\rho \cdot c} \cdot \frac{L}{R_R \cdot G_R}\end{aligned}\tag{14}$$

Indicele R se refera aici la cazul situatiei reale in care se gaseste conducta din punct de vedere al izolatiei termice si din punct de vedere al debitului de agent termic vehiculat. In conditii de proiectare identificate prin indicele P, randamentul de transport al tronsonului este :

$$\begin{aligned}\eta_P &= \frac{G \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{1P} - t_e)}{G \cdot \rho \cdot c \cdot (t_0 - t_e)} = \frac{(t_{1P} - t_e)}{(t_0 - t_e)} = \frac{E_P \cdot (t_0 - t_e)}{(t_0 - t_e)} = E_P \\ E_P &= \exp(-NTU_P) \\ NTU_P &= \frac{1}{\rho \cdot c} \cdot \frac{L}{R_P \cdot G_P}\end{aligned}\tag{15}$$

Astfel eficienta de transport a tronsonului va fi :

$$\begin{aligned}\varepsilon_T &= \frac{\eta_R}{\eta_P} = \frac{E_R}{E_P} = \frac{\exp(-NTU_R)}{\exp(-NTU_P)} = \exp(NTU_P - NTU_R) \\ \varepsilon_T &= \frac{\eta_R}{\eta_P} = \exp\left[-NTU_P \cdot \left(\frac{NTU_R}{NTU_P} - 1\right)\right] = E_P^{\left(\frac{NTU_R}{NTU_P} - 1\right)}\end{aligned}\tag{16}$$

Eficiența  $\varepsilon_T$ , astfel definită, rezultă ca fiind subunitară și în acest fel randamentul real de transport  $\eta_R$ , rezultă ca având o valoare mai mică decât randamentul de proiect al tronsonului  $\eta_P$ .

#### 4. Concluzii

Rezultatul mai important stabilit în cadrul lucrării de față îl constituie conceptul de conductă echivalentă din punct de vedere al pierderilor termice pentru o conductă similară izolată cu cochilie de poliuretan și îngropată în sol. S-a stabilit practic valoarea grosimii aditionale de izolație termică pentru ca această conductă echivalentă aflată în aerul exterior să disipeze același flux termic ca și conductă reală îngropată în sol. Cu conductă echivalentă considerată ca fiind plasată în mediul exterior se poate opera mult mai ușor din punct de vedere al evaluării valorilor temperaturilor agentului termic în lungul conductei și din punct de vedere al evaluării fluxurilor termice disipate.

Eficiența termică a tronsoanelor de conductă este de asemenea un concept util în aprecierea performanțelor energetice ale transportului agenților termici în rețelele de transport și distribuție din cadrul SACET. Se poate aprecia obiectiv necesitatea reabilitării termice a diferitelor tronsoane de conductă din cadrul rețelelor termice.

#### Lista de Notatii

$h$  - adâncimea de îngropare a conductei ca distanță între suprafața solului și tangenta orizontală la cercul extern al izolației termice, m;  
 $r_i$  - rază interioară a conductei, m;  
 $g_t$  - grosimea peretelui conductei, m;  
 $g_{iz}$  - grosimea stratului de izolație, m;  
 $\lambda_t$  - conductivitatea termică a peretelui conductei, W/m.K;  
 $\lambda_{iz}$  - conductivitatea termică a cochiliei de izolație, W/m.K;  
 $\lambda_s$  - conductivitatea termică a solului, W/m.K;  
 $\alpha_i$  - coeficientul de transfer termic convectiv de la fluid la suprafața interioară a conductei, W/m<sup>2</sup>.K;  
 $\alpha_e$  - coeficientul de transfer termic superficial la suprafața solului, W/m<sup>2</sup>.K;  
 $t_{ag}$  - temperatura agentului termic vehiculat prin conductă, °C;  
 $t_e$  - temperatura exterioară, °C;  
 $R_l$  - rezistența termică liniară a conductei izolate, m.K/W;  
 $R_s$  - rezistența termică evaluată ca suma rezistențelor de la nivelul agentului termic care circulă prin conductă și până la suprafața exterioară a izolației termice aplicată conductei, m<sup>2</sup>.K/W;  
 $l(\alpha)$  - lungimea unui arc de cerc de rază -  $r_{iz}$  și unghi -  $\alpha$ , m;  
 $L_s(\alpha)$  - lungimea liniei de curent care porneste din semicircumferința superioară, m;

Evaluarea fluxului termic emis de agentul termic care circula printr-o conducta ingropata

$l_1(\alpha)$ ,  $l_2(\alpha)$  - lungimile a doua arce de cerc din traseul liniei de curent aferent semicircumferintei inferioare a conductei, m;

$l_i(\alpha)$  - lungimea liniei de curent care porneste din semicircumferinta inferioara, m;

$r_s(\alpha)$  – rezistenta termica a solului pe traseul liniei de flux emise din semicircumferinta superioara a conductei,  $m^2.K/W$ ;

$r_i(\alpha)$  – rezistenta termica a solului pe traseul liniei de flux emise din semicircumferinta inferioara a conductei,  $m^2.K/W$ ;

$R_s(\alpha)$  – rezistenta termica totala pe traseul liniei de flux emise de la agentul termic prin semicircumferinta superioara a conductei, la mediul exterior,  $m^2.K/W$ ;

$R_i(\alpha)$  – rezistenta termica totala pe traseul liniei de flux emise de la agentul termic prin semicircumferinta inferioara a conductei, la mediul exterior,  $m^2.K/W$ ;

$U_s(\alpha)$  – transmitanta termica totala pe traseul liniei de flux emise de la agentul termic prin semicircumferinta superioara a conductei, la mediul exterior,  $W/m^2.K$ ;

$U_i(\alpha)$  – transmitanta termica totala pe traseul liniei de flux emise de la agentul termic prin semicircumferinta inferioara a conductei, la mediul exterior,  $m^2.K/W$ ;

$U_S$  - transmitanta termica totala integrata pe traseul liniei de flux emise de la agentul termic prin semicircumferinta superioara a conductei, la mediul exterior,  $W/m^2.K$ ;

$U_I$  - transmitanta termica totala integrata pe traseul liniei de flux emise de la agentul termic prin semicircumferinta inferioara a conductei, la mediul exterior,  $W/m^2.K$ ;

$\Phi_S$  – fluxul termic emis prin semicircumferinta superioara a conductei pe 1m din lungimea conductei,  $W/m$ ;

$\Phi_I$  – fluxul termic emis prin semicircumferinta inferioara a conductei pe 1m din lungimea conductei,  $W/m$ ;

$\Phi_T$  – fluxul termic emis prin conducta pe 1m din lungimea acesteia,  $W/m$ ;

## **Bibliografie**

1. Nicolae P. Leonachescu – Transferul caldurii intre constructii si sol – Editura Tehnica, Bucuresti – 1981;

2. Florin Iordache – Comportamentul dinamic al echipamentelor si sistemelor termice, editia a III-a – Editura Matrixrom 2008;