



Munich Personal RePEc Archive

**Determination of efficiency exergy on a  
stretch of the network from EM  
PETRILA**

Petrilean, Dan Codrut

University of Petrosani

26 May 2005

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/53925/>  
MPRA Paper No. 53925, posted 12 Mar 2015 20:47 UTC

# DETERMINAREA RANDAMENTULUI EXERGETIC PE UN TRONSON DE REȚEA DE LA E.M. PETRILA

PETRILEAN DAN CODRUȚ – Universitatea Petroșani; petrilean1975@yahoo.com

Abstract: The exergetic model is superior to other methods of study of mining pneumatic networks thermal processes. It allows us to find out the energy losses and exergetic efficiency. Thus, we have more opportunities for increasing these installation performances

## 1. Generalități

Orice corp posedă o capacitate de lucru mecanic față de mediu atâta timp cât starea sa se deosebește de cea a mediului exterior. Dacă se egalizează cu cea a mediului, atunci această capacitate de lucru mecanic devine disponibilă ca lucru mecanic exterior, care are o valoare maximă când procesul de trecere de la starea inițială la cea a mediului este reversibilă și acest lucru este valabil nu doar pentru un singur ciclu, ci chiar pentru procese de curgere continuă de fluid.

În ceea ce privește rețelele pneumatice miniere regimul de curgere se desfășoară *irreversibil*. În acest caz, *exergia* constituie o metodă de analiză a proceselor termodinamice din aceste conducte.

Exergia unei stări oarecare ( $p, T$ ) și cea a mediului ambiant ( $p_0, T_0$ ) se arată în diagrama ( $i, s$ ) din figura 1:

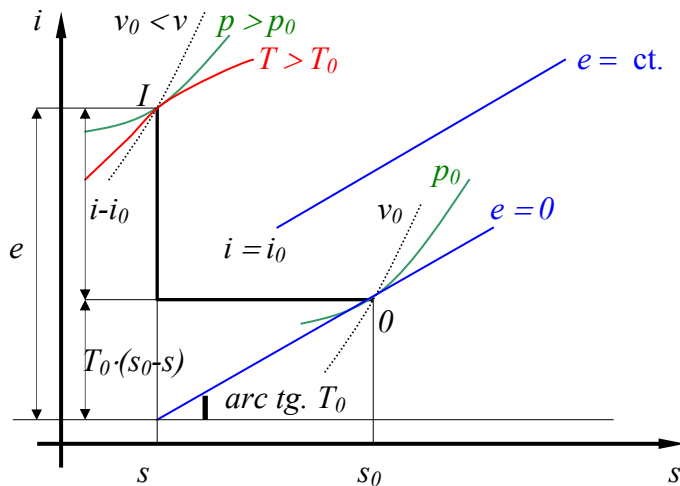


Fig. 1. Exergia unei stări oarecare și cea a mediului ambiant

Tangenta la izobara  $p_0$  prin starea „o” reprezintă linia de referință de la care se măsoară exergia oricărei alte stări.

$$T_0 = \left( \frac{\partial i}{\partial s} \right)_p \quad (1)$$

Exergia unui fluid cu starea  $(p, T)$  care curge spre echilibru cu mediul ambiant  $(p_0, T_0)$  este formată dintr-o componentă termică  $e_T$  și una mecanică  $e_p$ .

$$e = e_T + e_p = \left[ c_p \cdot (T - T_0) - c_p \cdot T_0 \cdot \ln \frac{T}{T_0} \right] + R \cdot T_0 \cdot \ln \frac{p}{p_0} \quad (2)$$

Ceea ce interesează în cazul curgerii pe conducte este valoarea lucrului mecanic, care depinde de starea sistemului, starea mediului ambiant, forma energiei consumate, realizarea proceselor sub aspect ireversibil.

## 2. Considerații teoretice

Referindu-ne la rețelele pneumatice, acestea îmbracă ireversibilitatea sub două forme- internă și externă. Ireversibilitatea internă se referă la:

- caracterul nestatic al destinderii;
- frecări interne, frecări în interiorul fluidului cu pereții, turbioanele și șocurile care apar la curgere;
- condensarea umidității, prin care se obținează parțial secțiunea de curgere;
- amestecarea și omogenizarea amestecului aer umed-apă-ulei-praf-rugină;
- diferențe finite ale parametrilor presiune și temperatură pe diferite porțiuni ale fluidului.

Ireversibilitatea externă are în vedere:

- schimbul de căldură la diferențe finite de temperatură între aerul comprimat din conductă și mediul prin care trece conducta pneumatică;
- transfer de masă prin neetanșeitățile conductelor care se realizează prin diferență de presiune.

În cazul proceselor reale din conductele pneumatice, într-o măsură mai mare sau mai mică sunt inevitabile pierderi datorită ireversibilității.

Astfel, se poate scrie:

$$E^- < E^+ \quad (3)$$

unde:  $E^+$  este exergia introdusă(furnizată), iar  $E^-$  este exergia utilă.

Această micșorare a exergie este o măsură directă a pierderilor care se produc în timpul procesului astfel că:

$$E^+ = E^- + \Delta E_p \quad (4)$$

În care termenul  $\Delta E_p$  reprezintă pierderile de exergie și care în literatura de specialitate[1] îmbracă următoarele forme:

1) Pierderile de exergie din cauza schimbului de căldură cu diferență de temperatură:

$$\Delta E_Q = S_l \cdot k \cdot (T_0 - T_{ac}) \cdot \left( 1 - \frac{T_0}{T_{ac}} \right) \quad [\text{W}] \quad (5)$$

în care:  $S_l$  este suprafața laterală a conductei, care desparte cele două medii, în  $\text{m}^2$  ;

$k$  – coeficient global de schimb de căldură, în  $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$ ;

$T_{ac}$  – temperatura aerului comprimat.

2) Pierderile de exergie datorată pierderilor interne prin frecare:

$$\Delta E_p = \dot{m} T_0 \cdot \left( c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1} \right) \quad [\text{W}] \quad (6)$$

în care:  $m$  este debitul aerului comprimat în kg/s;  
 $p_1, T_1$  parametrii la începutul tronsonului;  
 $p_2$  și  $T_2$  la sfârșitul tronsonului.

3) Pierderile de exergie din cauza pierderilor cantitative la îmbinările conductelor:

$$\Delta E_m = \Delta \dot{m} \cdot c_p \cdot T_0 \cdot \ln \left[ \frac{T_{ac}}{T_0} \cdot \left( \frac{p_0}{p_m} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad [\text{W}] \quad (7)$$

în care:  $\Delta m$  sunt pierderile de debit masic prin neetanșeități, în kg/s;  
 $p_m$  – presiunea medie pe tronson, în bar.

4) Pierderile de exergie prin laminarea aerului comprimat:

$$\Delta E_l = \dot{m} \cdot R \cdot T_0 \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} \quad [\text{W}] \quad (8)$$

unde presiunea  $p_2$  de determină astfel:

$$p_2 = p_1 - (\Delta p + \Delta p_{obturat}) \quad (9)$$

unde  $\Delta p_{obturat}$  reprezintă majorarea pierderilor de presiune datorită micșorării secțiunii conductei din cauza condensării umidității.

Calculând valorile corespunzătoare ale exergiei primite și extrase se poate face analiza termodinamică pe baza randamentului exergetic al oricărei instalații sau al unui element (tronson) al instalației, separat. Astfel, în cazul conductelor pneumatice miniere analiza prin randamentul exergetic se face pentru fiecare tronson întrucât lungimile și diametrele conductelor sunt în permanentă schimbare. Aici pierderile de exergie se transformă în anergie măbind fluxul de căldură către mediul ambiant.

Randamentul exergetic:

$$\eta_{ex} = \frac{E^-}{E^+} = \frac{E^+ - \sum \Delta E_p}{E^+} = 1 - \frac{\sum \Delta E_p}{E^+} \quad (10)$$

Exergia introdusă(furnizată)  $E^+$  are valoarea:

$$E^+ = \dot{m} \cdot [(i - i_0) - T_0 \cdot (s - s_0)] \quad (11)$$

iar

$$\Sigma \Delta E_p = \Delta E_Q + \Delta E_p + \Delta E_m + \Delta E_l \quad (12)$$

### 3. Determinarea randamentului exergetic al unui tronson de la E.M. Petrila

Vom determina randamentul exergetic pe tronsonul de la suprafața minei cuprins între Stația Centrală și îmbinarea cu prima conductă care coboară în mină.

Pentru validarea relațiilor anterioare s-a dispus de următoarele date de la rețeaua pneumatică a E.M. Petrila:

- debitul aerului din conductă 29044 kg/h;
- diametrul conductei 400 mm;
- lungimea conductei 257 m;
- presiunea la intrare în conductă 6 bara;
- pierderea de presiune pe tronson 0,0203 bara;
- pierderea de debit 0,75 m<sup>3</sup> / min;
- căldura specifică a aerului comprimat 1020 J/kg·K;
- temperatura aerului comprimat 50<sup>0</sup>C;
- presiunea și temperatura medie anuală  $p_a = 1$  bar și  $t_a = 10^0$ C;
- valorile entalpiei și entropiei specifice din diagrama (i,s) fig. 2:

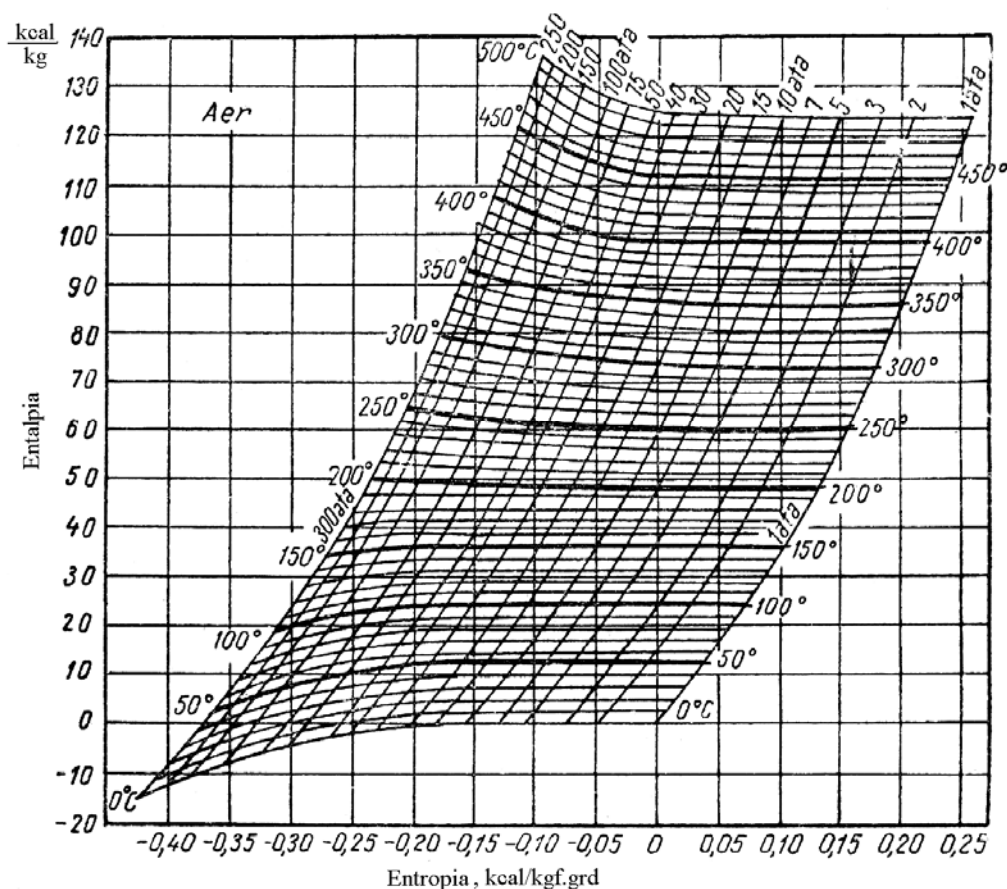


Fig. 2. Diagrama pentru aer, cu rețeaua de izobare de la 1 la 300 ata și de izoterme de la 0<sup>0</sup>C la 500<sup>0</sup>C.

Exergia aerului comprimat:

$$E^+ = \dot{m} \cdot [(i - i_0) - T_0 \cdot (s - s_0)] = 8,06 \cdot 4,187 \cdot [(13 - 2) - 283 \cdot (-0,08 - 0,03)] = 1421,77 \text{ kW}_t$$

Pierderea de exergie prin neetanșeități:

$$\begin{aligned} \Delta E_m &= \Delta \dot{m} \cdot c_p \cdot T_0 \cdot \ln \left[ \frac{T_{a.c}}{T_0} \cdot \left( \frac{p_0}{p_m} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] = \\ &= 0,08 \cdot 1,02 \cdot 283 \cdot \ln \left[ \frac{323}{283} \cdot \left( \frac{1}{5,98} \right)^{0,286} \right] = -9,15 \text{ kW}_t \end{aligned}$$

Pierderea de exergie prin frecări mecanice:

$$\Delta E_p = \dot{m} \cdot T_0 \cdot \left( c_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} - R \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} \right) = 8,06 \cdot 283 \cdot \left( 1,02 \cdot \ln \frac{49,23}{50} - 0,287 \cdot \frac{5,97}{6,0} \right) = -32,87 \text{ kW}_t$$

Pierderea de exergie prin laminare:

$$\Delta E_l = \dot{m} \cdot R \cdot T_0 \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} = 8,06 \cdot 0,287 \cdot 283 \ln \frac{5,97}{6,0} = -3,28 \text{ kW}_t$$

Pierderea de exergie către mediul exterior:

Coefficientul global de schimb de căldură, aer comprimat-mediul exterior este:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i \cdot D_i} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \ln \frac{D_e}{D_i} + \frac{1}{\alpha_e \cdot D_e}}$$

Întrucât convecția internă  $\alpha_i \gg \alpha_e$ , poate fi omisă, rezistența interioară  $R_i$  de asemenea, conducția oțelului fiind destul de mare, atunci rezistența termică a peretelui  $R_p$  poate fi și ea neglijată.

Cu aceste simplificări relația de mai sus devine:

$$k \cong \alpha_e D_e$$

în care  $\alpha_e = 1,163 \cdot (8 + 0,04 \cdot t + 6 \sqrt{w})$ ,  $w$  fiind viteza aerului exterior conductei ( $w = 1 \text{ m/s}$ ) iar  $t$  temperatura aerului ( $t = 40^\circ\text{C}$ ).

Ecuția devine:

$$\begin{aligned}\Delta E_Q &= q_{ext} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{a-c}}\right) = \pi \cdot \alpha_e \cdot D_e \cdot L \cdot (T_0 - T_{a-c}) \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{a-c}}\right) = \\ &= 3,14 \cdot 16,74 \cdot 0,42 \cdot 257 \cdot (283 - 323) \cdot \left(1 - \frac{283}{323}\right) = 198,8 \text{ kW}_t\end{aligned}$$

Randamentul exergetic este:

$$\eta_{ex} = 1 - \frac{9,15 + 32,87 + 198,8 + 3,28}{1421,77} = 0,87$$

În concluzie metoda de analiză exergetică a rețelelor pneumatice miniere ne oferă informații cu privire la ponderea pierderilor de energie și poate constitui un parametru important pentru luarea unor decizii tehnico-economice în vederea ridicării eficienței acestor instalații. Deși valoarea obținută este aparent mare ( $\eta_{ex} = 0,87$ ), ea a fost stabilită doar pe un tronson. Pe întreaga rețea valoarea randamentului exergetic este mai mică.

Având în vedere că regimul de funcționare al acestor instalații este destul de fluctuant, nu ar fi lipsit de interes să se stabilească limitele cele mai probabile între care funcționarea este economică.

### **Bibliografie:**

- [1] I. I. Irimie - Gazodinamica rețelelor pneumatice. Editura Tehnică București, 1994.
- [2] Th. Iacobovici – Termodinamica tehnică. Editura Tehnică București, 1957.
- [3] Vs. Radenco – Criterii de optimizare a proceselor termice. Editura Tehnică București, 1977.